東京帝國大學理學部紀要
第三類 植物學
第五冊 第二篇

JOURNAL
OF THE
FACULTY OF SCIENCE
IMPERIAL UNIVERSITY OF TOKYO

SECTION III BOTANY

Vol. V Part 2

TOKYO
Published by the University
March 20, 1937

The "JOURNAL OF THE FACULTY OF SCIENCE" is the continuation of the "JOURNAL OF THE COLLEGE OF SCIENCE" published by this University in forty-five volumes (1887–1925), and is issued in five sections:

Section I.—Mathematics, Astronomy, Physics, Chemistry
Section II.—Geology, Mineralogy, Geography, Seismology
Section III.—Botany
Section IV.—Zoology
Section V.—Anthropology

All communications relating to this JOURNAL should be addressed to the DEAN OF THE FACULTY OF SCIENCE, IMPERIAL UNIVERSITY OF TOKYO.

Über den Wechsel des Blutungsdruckes von *Cornus controversa* HEMSL.

Von

H. NAKANO, RH.

45 Abbildungen im Text

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung

Unsere Kenntnis über den Blutungsdruck, bzw. dessen ursächliche Erklärung ist heute noch ganz lückenhaft, trotzdem die verschiedenen Forscher von jeher[1] darum eifrig bemüht waren. Neuere darauf bezügliche Arbeiten, wie die von URSPRUNG,[2] FR. WYSSLING,[3] MÜNCH,[4] HEYL[5] und von GEBHARDT[6] sind noch teils hypothetisch, sodaß wir noch nicht imstande sind, daraus eine genaue Vorstellung über die kausale Frage des Blutungsdruckes zu gewinnen.

In Betreff der Beeinflussung des Blutungsdruckwechsels durch die Außenbedingungen liegen noch einander entgegen stehende Meinungen vor. So haben Forscher wie CLARK,[7] WIEGLAND[8] und Y. OKADA[9] einen großen Einfluß der Lufttemperatur auf den Blutungsdruckwechsel, und J. BOSE[10] eine ganz parallel gehende Beziehung der beiden hervor, während MERVIN und LYON,[11] und LEPESCHKIN[12] auf eine merkwürdige Beeinflussung desselben durch die Sonnenbestrahlung aufmerksam gemacht haben. Die Arbeit von MERVIN und LYON ist insofern bedeutungsvoll, als sie annehmen, daß die Gefäßwände durch die Sonnenwärme sich nach innen ausdehnen und dadurch eine Druckzunahme hervorbringen sollen. Dieser ganz sinnvolle Gedanke ist aber leider in späteren Arbeiten unberücksichtigt geblieben.

Hier ist besonders die Arbeit von BOSE beachtenswert, die mit dem Wurzelstumpfe von *Zea mays* und einem Baum von *Poinciana regia* mit abgefallenem Laub studiert hat. Daraus kam er zur Überzengung, daß der Druckwechsel strikt

---

1) Hierüber zitiert man die Arbeit von W. DETMER: Beiträge zur Theorie des Wurzeldruckes, 1877.

2) A. URSPRUNG u. G. BLUM, Eine Methode zur Messung polarer Saugkraftdifferenzen. Jahrb. f. w. B. 65, 1925, H. 1.

3) Al. FREY-WYSSLING, Theorie des Blutens. Ber. d. d. Bot. Ges. 1927, H. 7.

4) E. MÜNCH, Die Stoffbewegungen in der Pflanze, 1930.

5) Y. H. HEYL, Der Einfluß von Außenfaktoren auf das Bluten der Pflanzen. Planta, 1933, 294.

6) A. G. GEBHARDT, Die Abhängigkeit der Wurzelsaugkraft von den Bedingungen des Bodens. Botanisca experimentallis, 1935, 255.

7) Zitiert nach der Arbeit von WIEGLAND.

8) K. M. WIEGLAND, Pressure and Flow of Sap in the Maple, Amer. Natur. 1906, 40.

9) Y. OKADA, On the root pressure of *Cornus controversa*, observed at Sendai. (Japanisch). Bot. Mag. 1928, Vol. 42, No. 496, 218.

10) J. BOSE, The Physiology of the Ascent of Sap. 1923, p. 146.

11) H. E. MERVIN & H. LYON, The Sap Pressure in the Birch Stem. Bot. Gaz. 1910, 53.

12) W. LEPESCHKIN, Untersuchungen über das Frühlingsbluten der Birke und des Ahorns. Planta, 1927, H. 1–2.

parallel mit dem Lufttemperaturwechsel läuft. Das Resultat an *Zea mays* scheint sehr wahrscheinlich sicher zu sein, da der Stammteil größtenteils abgeschnitten war, und demzufolge die Einwirkung der Sonnenwärme auf den Stammteil fast außer Acht gelassen wird. Der Fall liegt aber ganz anders an *Poinciana regia*. Hier ist es ganz fraglich, ob dabei eine besondere Eigenschaft der Versuchspflanze, oder nur eine Phase des jahresperiodischen Druckwechsels vorliegt (vergl. S. 87–96 vorliegender Arbeit). In BOSES Arbeit muß man noch bemerken, daß er keine Verschiedenheit zwischen dem Wurzel- und Stammdruck klar stellt. Weiterhin ist die von Bose erhaltene Kurve nicht kontinuierlich, sodaß die vorübergehende pulsatorische Druckveränderung ganz übersehen wurde.

Im botanischen Garten zu Koishikawa (Tokyo) wurde der Blutungsdruck eines da wildwachsenden großen Baumes (Baun I) von *Cornus controversa* jeden Frühling etwa 30 Jahre lang bis 1925 unter der Leitung von Prof. MIYOSHI studiert. Dabei wurde der Druck durch Beobachtungen eines offenen am Grunde desselben Baumes angesetzten Hg-Manometers abgelesen. Infolge dieser Methodik sind die vorübergehenden Druckschwankung und dieselbe während der Nacht fast gänzlich unberücksichtigt geblieben. Ungeachtet dieser lückenhaften Methode gelang es ihm, da den tages- und jahresperiodischen Druckwechsel zu erkennen. In seinen Befunden ist vor allem die Entdeckung einer am frühen Morgen stattfindenden sog. „ungewöhnlichen Druckabnahme“ hervorzuheben. Über diese merkwündige Erscheinung sehe man seine Veröffentlichung in den „Ber. d. d. bot. Ges.“[1] und seine japanisch geschriebenen „Vorlesungen der Botanik“[2] ein.

Im Jahre 1926 habe ich einen selbstregistrierenden Druckmanometer konstruiert und damit desselben Jahres und später bis jetzt etwa 9 Jahre lang über den Blutungsdruck des oben erwähnten und anderer (Baum 2, 3, 4) *Cornus*—Bäume studiert. Um die Ursache des tagesperiodischen Druckwechsels klar zu stellen, wendete ich der Beeinflussung des Druckwechsels durch die Sonnen- und künstlichen Wärme an sowohl wildwachsenden, als auch topfkultivierten Bäumen meine besondere Aufmerksamkeit zu. Manchmal wurde der Druckwechsel eines Stengelstückes zu meiner Untersuchung herangezogen.

In Anbetracht jahresperiodischen Druckwechsels habe ich den osmotischen Druck des Blutungssaftes studiert, um die Mitwirkung der Holzparenchym-, bzw. Markstrahlzellen zu konstatieren.

---

1) Über die ungewöhnliche Abnahme des Blutungsdruckes bei *Cornus macrophylla* (=*c. controversa*). Ber. d. deutsch. b. G. 1909, S. 457.

2) Das letzte Auflage, 1931.

Kurz gesagt möchte ich mit der vorliegenden Arbeit einen Beitrag zur kausalen Erklärung des jahres- und tagesperiodischen Druckwechsels bei *Cornus controversa* liefern.

Bei den vorliegenden Untersuchungen kamen mehrere meteorologische Daten, die am meteorologischen Zentralobservatorium gewonnen wurden, in Anwendung. Für die Erlaubnis der Zitierung derselben möchte ich besonders meinen besten Dank dem Direktor desselben Amtes aussprechen. Für mehrere Ratschläge über physikalische und meteorologische Fragen möchte ich auch hier meinem Kollege dem Herrn Prof. Dr. S. FUJIHARA meinen verbindlichsten Dank sagen.

II. Untersuchungsmethodik

Um den Druck selbstregistrieren zu lassen, konstruierte ich einen offenen Manometer, bei welchem das Volumen des kurzen Schenkels beinahe dem des langen Schenkels proportionell variiert. Durch Kalibrieren fand ich in einem Manometer, mit Ausnahme der Endteile des kurzen Schenkels, das Verhältnis von 1:22,[1] in einem anderen aber das Verhältnis von 1:14. In den meisten Fällen kam der erste in Anwendung, sodaß der selbstregistrierte Druck um 1/22 (übrigens 1/14) größer oder kleiner ist je nach dem Auf-oder-Abstieg des Druckes als der echte. Da der echte und gefundene Druck parallel läuft, soweit sich das Verhältnis des Manometers richtigerweise erhält, so erübrigt es sich für uns, die Kurvenformen zu korrigieren.

Zum Registrieren des Druckwechsels diente ein kleiner mit Quecksilber gefüllter Schwimmer, der mittelst einer Schnur mit der Registriertrommel verbunden war. Dieser beschreibt einen vollen Kreis in etwa 24 Stunden, wobei die Geschwindigkeit genau 5.9 mm pro 30 Minuten betrug. Aus diesem Geschwindigkeitswert kann man leicht den Stundengang an beliebigen Stellen einer Kurve bestimmen.

In den meisten Fällen wurde der Druck durch eine andere kleine Rolle auf 1/3 des originalen verkleinert, manchmal aber ohne weiters, also als 1/1-Kurve gewonnen. Die oben erwähnte Einrichtung, die ich Dendrodynamometer nennen möchte, zeigt Fig. 1.

Im übrigen wurde eine Pteffersche Registriertrommel, die einen ganzen Kreis etwa in einer Stunde durchläuft, angewendet. Diese Einrichtung war

---

1) Natürlich bekommt man Fehlerwerte an verschiedenen Stellen des Schenkels, die für richtiges Berechnen des Druckes berücksichtigt werden müssen.

sehr vortheilhaft, um den Druckwechsel eines abgeschnittenen Holzstückes, mit Hilfe einer Rolle etwa 8 mal vergrößert, registrieren zu lassen.

Es mag hier über die Stelle des Baumes, wo der Manometer angesetzt wurde, erörtert werden. Bei wildwachsenden Bäumen geschah die Bohrung, in welche ein Manometer eingeführt wurde, meistens nahe am Boden, manchmal aber in verschiedener Stammhöhe über dem Boden. Bei Topfkulturen wurde der Stamm je nach dem Bedarf in verschiedener Höhenlage, wo ein Manometer mit Hilfe eines Kautschukpfropfens befestigt wurde, abgeschnitten. An dem Stammstumpfe ließ ich manchmal einige Äste stehen bleiben, um die Einwirkung dieser Teile auf den Druckwechsel zu erkennen.

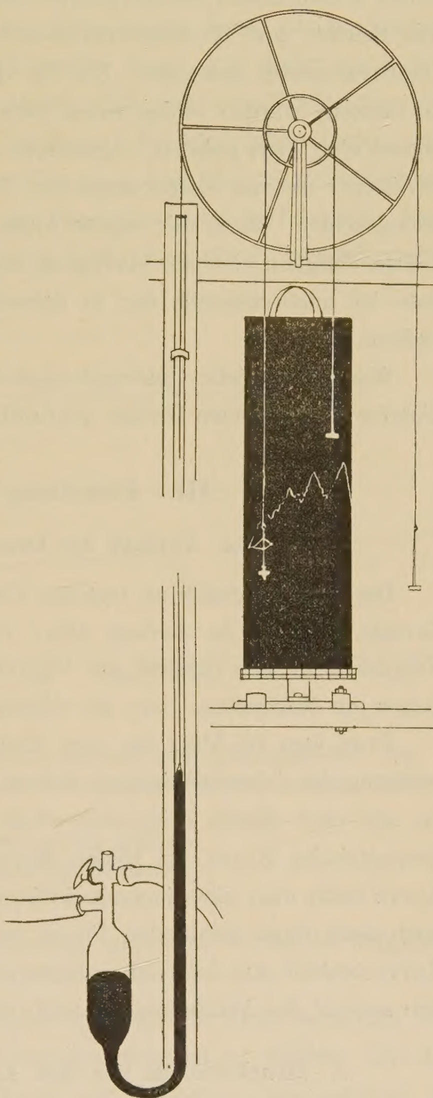


Fig. 1. Selbstkonstruierter Dendrodynamometer (Erklärung im Text).

Bei dem was bis hierher erörtert worden ist, handelt es sich um die Vorrichtung für Selbstregistrierung des Druckes. Manchmal muß ich aber auf die bloße Messung durch Ablesen verzichten. So habe ich bei den Untersuchungen des negativen Druckes mit einem gewöhnlichen, aber am oberen Ende geschlossenen und luftleer gemachten Manometer, und weiterhin beim Studium einer Beeinflussung des Druckes durch eine Kulturlösung einfach mit einem gewöhnlichen aber ganz kleinen Manometer den Druckwechsel gelesen, ohne diesen selbstregistrieren zu lassen. Die Tagesperiodizität der Ausflußmenge habe ich nur einmal mit einem Schwimmer und einer Kontaktuhr nach Baranetzky selbstregistrieren lassen.

Zuletzt möchte ich über die Methodik zur Messung der Außenbedingungen einiges sagen. Die Lufttemperatur wurde mit einem gewöhnlichen, sowie mit einem Richardschen Selbstregistrierungsthermometer, und die Luftfeuchtigkeit mit Feucht- und Trockenthermometer, und mit einem selbstregistrierenden Haarhygrometer gemessen. Um die Bodentemperatur[1] in verschiedener Tiefe zu messen, wurden einige Arten Bodenthermometer, jeder von denselben für irgend eine Tiefe passend, angewendet. Betreffs der Windgeschwindigkeit habe ich immer die von meteorologischen Zentralobservatorium gewonnenen Daten nachgesehen. Wenn mir eigene Messungen über die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit nicht zur Verfügung standen, oder dieselben unsicher erschienen, habe ich mich ebenfalls der in demselben Observatorium gewonnenen Daten bedient.

Was die spezielle Untersuchungsmethodik anbelangt, so möchte ich später dieselbe an passenden Stellen ausführlich erwähnen.

III. Einteilung der Druckkurven

α. Verlauf des Druckwechsels überhaupt

Der Blutungsdruck an unseren *Cornus*-Bäumen, genau gesagt an deren Grunde, ist erst zu Anfang März immer positiv. Schon in der Mitte des Februar zeigt sich daselbst am Vormittag ein positiver Druck, während dagegen am Nachmittag bzw. am Abend dort negativer Druck herrscht.

Etwa vom 10, März bis zum Ende desselben Monates, also bis zur Erreichung des Jahresmaximums nimmt der Druck von Tag zu Tag beständig zu, und nach diesem Zeitpunkte wieder ab, sodaß eine lang dauernde ziemlich symmetrische Kurve an beiden Seiten des Jahresmaximums besteht. Diese Kurve kann man eine jahresperiodische Kurve nennen, in welcher ich aber noch nicht ihren minimalen Punkt konstatieren kann. Die jahresperiodische Kurve besteht aus zahlreichen tagesperiodischen Kurven, in denen man deutlich sowohl das Maximum, als auch das Minimum unterscheiden kann.

β. Druckwechsel vor dem Auftreten des Jahresmaximums

A. Tägliche Druckzunahme

Um die tägliche Druckzunahme im Verlaufe von Hauptblutungszeit zu konstatieren, wollte man zunächst das tagesperiodische Druckmaximum und-

1) RICHARDscher Bodenthermograph war ganz ungeeignet, die richtige Bodentemperatur zu zeigen, da ein unerläßlicher Fehler hierbei immer mitklingt.

minimum mit einander vergleichen. In der Tat zeigt sich ohne Ausnahme das von Tag zu Tag immer mehr zunehmende Druckmaximum, während manchmal betreffs des Minimums Ausnahmefälle vorkommen.

Außerdem sieht man an Regen-, bzw. Schneetagen kaum ein merkliches Maximum und Minimum. Aus diesen Gründen kann man weder ein tagesperiodisches Maximum, noch Minimum als ein Kriterium zum Vergleichen der täglichen Druckzunahme benutzen. Es muß noch berücksichtigt werden, daß das tagesperiodische Maximum und Minimum unter dem Einfluße verschiedener Außenbedingungen, worunter derselbe der Sonnenbestrahlung besonders hervorzuheben ist, bestehen. Somit war es für mich nötig, den Kurventeil, worin

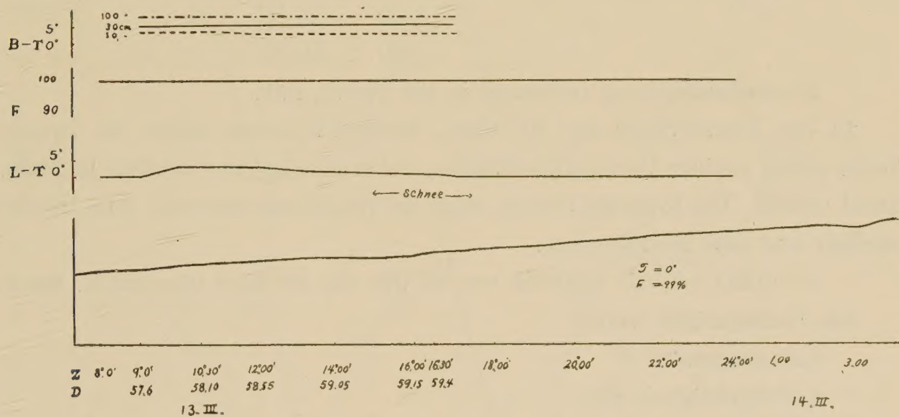


Fig. 2. Druckwechsel von *Cornus* Baum (1) während eines Schneegestöbers. Daneben der Verlauf der Boden- (B-T) und Lufttemperatur (L-T), und der Luftfeuchtigkeit (F).

Z...... Zeit in Stunden auf der Abszisse.
D...... Druck in cm auf der Ordinate.

wenigstens die Einwirkung dieser Bedingung eliminiert wurde, in Vergleich zu setzen.

Durch die langdauerden Beobachtungen glaubte ich mich berechtigt, die an Schneetagen erhaltene Kurve als Vergleichsstandard zu wählen. Die am 13. März 1927 bei Baum I erhaltene Kurve war besonders dazu geeignet, da dort die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit annähernd konstant waren. Merkwürdigerweise war diese Kurve fast lineal, langsam nach oben verlaufend, (vergl. Fig. 2) besonders an ihren Nachtteilen sehr regelmäßig. Die Bodentemperatur, die in der Tiefe von 10, 30 oder 100 cm tagesüber gemessen wurde, war auch fast konstant, woraus man annehmen könnte, daß dieselbe auch

während der Nacht fast gleichmaßig geblieben war. Ich fand, daß die Stundenweise berechneten Druckwerte, besonders in der Nacht, nach folgender Formel variieren.

$y = (2.625 \pm 0.579)\, x$

y, Druckwert in mm Quecksilber

x, Stunden (gültig von 17 Uhr des 13. bis 1 Uhr des 14. März).

Natürlich ist die obige Formel nur unter den folgenden Bedingungen giltig:

Lufttemperatur fast 0°

Luftfeuchtigkeit fast 99%

Bodentemperatur in der Tiefe von	10 cm	3.0–3.5 °C
	30 „	5.5 °C
	100 „	8.0 °C

Sonnenbestrahlung, besonders in der Nacht, null.

In der Schnee-Nacht des 20. März, desselben Jahres zeigte die Druckkurve einige geringe Unregelmäßigkeiten, wobei sie aber, als Ganzheit gesehen, lineal verlief. Die folgende Formel zeigt die Beziehung zwischen dem Druckwechsel und dem Stundengang:

$y = (2.817 \pm 1.302)\, x$, gültig von 18 Uhr des 20. bis 3 Uhr des 21. März.

Die Bedingungen waren:

Lufttemperatur 0°

Luftfeuchtigkeit 85%

Bodentemperatur fast konstant

Sonnenbestrahlung null.

Wie die Tabelle zeigt, ist die geringere Luftfeuchtigkeit beim letzteren Falle beachtenswert, worauf wahrscheinlich der etwas unregelmäßige Verlauf der Druckkurve beruht. Da von dem experimentellen Beweis für die Beeinflussung des Druckwechsels durch die Außenbedingungen später die Rede sein wird, so möchte ich hier dieselbe ganz unberührt lassen.

Auf Grund des bis jetzt erwähnten ist man berechtigt zu schließen, daß die Außenbedingungen an Schneetagen, bzw.-Nächten die Druckschwankungen ganz beseitigen, und damit etwa das echte Bild des jahresperiodischen Druckwechsels deutlich zum Vorschein kommen lassen. Hiermit halte ich die Geschwindigkeit von 2.63 mm je Stunde, also 6.3 cm in 24 Stunden, die dabei herrschenden Außenbedingungen vorausgesetzt, für ein Kriterium der jahresperiodischen Druckzunahme, wenigstens bei Baum I. Um nun mit Zugrundelegung dieses Standardwertes zu vergleichen, entnahm ich die Differenz der

jedesmal um sechs Uhr[1] stattfindenden Druckwerte, da um dieselbe Zeit der Einfluß der Sonnenbestrahlung fast ohne Bedeutung, und die entsprechende Kurvenstelle als der Endpunkt einer Nachtkurve anzunehmen ist;

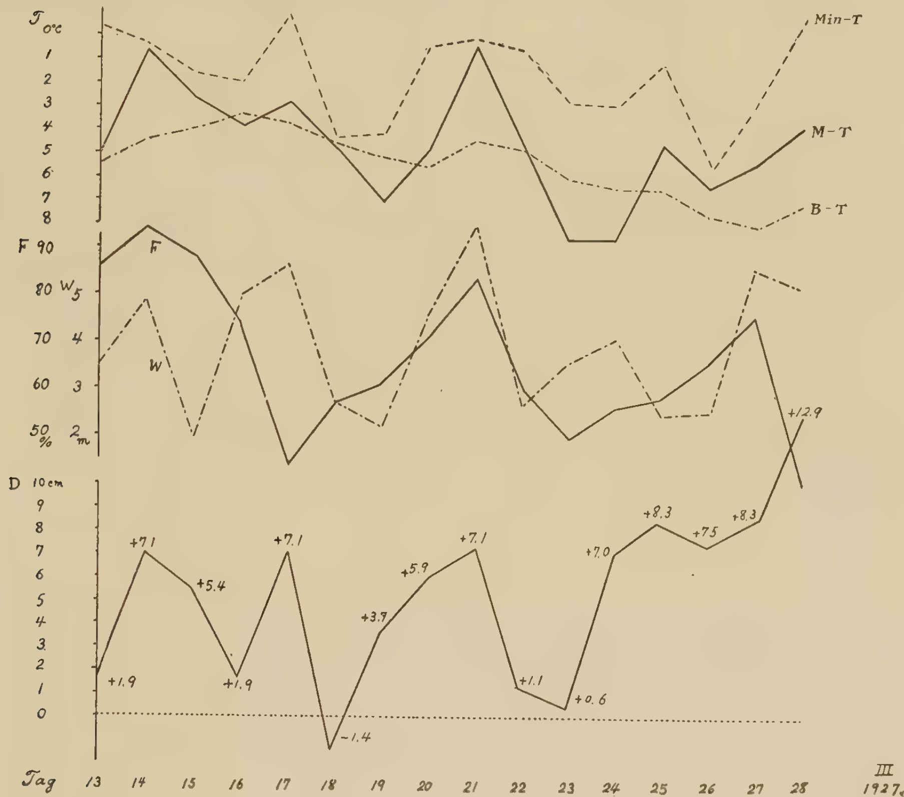


Fig. 3. Tägliche Druckzunahme je um 6 Uhr bei einem *Cornus*-Baum (I), neben dem Verlauf einiger Außenfaktoren.

Druck in cm auf der Ordinate.

Datum auf der Abszisse.

W...... Mittlere Windgeschwindigkeit der vorhergehenden 24 Stunden.
F ...... Mittlere Luftfeuchtigkeit „ „ 24 Stunden.
M-T... Mittlere Lufttemperatur „ „ 24 Stunden.
Min-T. Minimale Lufttemperatur.
B-T ... Bodentemperatur in der Tiefe von 30 cm.

anders gesagt, handelt es sich dort um den unter dem Lichtabschluß entstandenen Druck. Weiterhin steht derselben Zeitpunkt, soweit es sich wenigs-

1) Für weitere Fälle ist man wahrscheinlich berechtigt, den Druck um 5 Uhr oder zu noch früherer Zeit aufzunehmen.

tens um das im Jahre 1927 erhaltene Resultat handelt, vor dem Anfang der ungewöhnlichen Druckabnahme (darüber Näheres im Abschnitte VIII), sodaß man damit die Beeinflussung derselben Erscheinung außer Acht lassen kann. Nun möchte ich die unter Berücksichtigungen alles obigen berechneten Zahlen anführen.

Tabelle I.

Datum März 1927	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Wetter	Nacht Schnee	Schnee	Schön	Regen	Schön	Schön	Schön	Am Tage trüb, Nacht Schnee	Schnee	Schön	Schön	Schön	Schön	Trüb	Regen	Schön	Schön
Druck um 6 Uhr	53.6	55.5	62.6	68.0	69.9	77.0	75.0	79.3	85.2	92.3	93.4	94.0	101.1	109.3	116.8	125.1	138.0
Druckzunahme		1.9	7.1	5.4	1.9	7.1	−1.4	3.7	5.9	7.1	1.1	0.6	7.0	8.3	7.5	8.3	12.9
Durchsch. L-T		5.1	0.6	2.6	3.8	2.9	4.9	7.1	4.9	0.35	4.4	8.7	8.7	4.3	6.4	5.2	3.9
B-T[1] um 10 Uhr, in der Tiefe v. 30 cm		5.5	4.5	4.0	3.5	3.8	4.5	5.1	5.5	4.5	4.8	6.0	6.5	6.5	7,5	8.0	7.0

Die Figur 3 zeigt die Druckzunahme je um sechs Uhr mit dabei herrschenden Außenbedingungen. Aus dieser Figur und der obigen Tabelle erkennt man vor allem, daß die Druckzunahme meistens, nur zwei Fälle am 19 und 24 ausgenommen, dem Lufttemperaturwechsel invers proportionell geht. Die Ausnahmefälle scheinen mit dem Bodentemperaturwechsel proportionell zu verlaufen. Diese beiden wie eine Paradoxie erscheinenden Tatsachen werden aber dadurch verständlich gemacht, daß die Lufttemperatur hauptsächlich auf den Stammteil, und die Bodentemperatur auf den Wurzelteil einwirkt, sodaß manchmal der Einfluß der letzteren stärker zur Auswirkung gelangt.

Was nun den Einfluß der Lufttemperatur auf den Stärkeumsatz betrifft, so ist eine Anzahl von Arbeiten seit dem Erscheinen eines klassischen Werkes von MÜLLER-THURGAU veröffentlicht worden. Hier sei nur auf einige davon bzw. auf die Arbeiten, die durch tiefe Lufttemperatur hervorgerufene Stärkeverzuckerung des Holzes behandeln, hingewiesen. So z. B. die Arbeiten von FISCHER[2]

1) Man kann mit Recht diese Werte als fast gleich mit den durchschnittlichen Bodentemperaturen in derselben Tiefe halten.

2) A. FISCHER, Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse. Jahrb. f. w. B. 1891. S. 73.

und von COLVILLE.[1] Daneben ist die Arbeit von LEPESCHKIN,[2] die den Einfluß der durch Bodenabkühlung hervorgerufenen Verzuckerung auf das Bluten des Ahorns bemerkt, besonders hervorzuheben.

Es ist nun kaum fraglich, daß die Stärkeverzuckerung nach tieferer Temperatur sattfindet. Wenn man also annimmt, daß die Zunahme der Zuckermenge die des Blutungsdruckes zustande kommen läßt, so ist es ohne weiteres klar, daß der Blutungsdruckwechsel dem Lufttemperaturwechsel invers proportionell geht. Da meine eigene diesbezügliche Untersuchung im nächsten Abschnitte erwähnt wird, so möchte ich mich hier nicht weiter darüber äußern und nur darauf hinweisen, daß die an jedem frühen Morgen vor dem Sonnenaufgang gefundene Druckzunahme, die Mitwirkung anderer Außenbedingungen vorausgesetzt, mit der Lufttemperatur in innigster Beziehung steht.

B. Tagesperiodische Druckkurve

Diese kommt an schönen Tagen deutlich zum Vorschein, und zwar mit sowohl größeren als auch kleineren Schwankungen, die sich hauptsächlich durch eine stark spitzige Form charakterisieren. Merkwürdigerweise ist diese eine spitzige Schwankung weiter mit einer Anzahl von kleineren spitzigen Unebenheiten versehen.

Auf den Kurven an trüben Tagen stehen einfachere etwas rundliche Spitzen, während auf denjenigen an Regentagen kaum merkliche Schwankungen, also kein erkennbares Maximum und Minumum zu finden sind. Wie schon betont ist, sind die Kurven an Schneetagen die einfachsten, sogar lineal.

Im großen und ganzen sind die Kurventeile während der Nacht einfach, also denjenigen an trüben und regnerschen Tagen ähnlich, wodurch ich mich für berechtigt halte, den Kurventeil der Nacht von dem des Tages, anders gesagt die Nachtkurve von der Tageskurve zu unterscheiden.

Außerdem ist der Zeitpunkt des minimalen Druckes sehr wichtig, um die Druckkurven von einander zu unterscheiden. Das Druckminimum ist je nach dem jahresperiodischen Stadium stark verschiebbar, so z. B. bei früherem Stadium erscheint dasselbe spät, also in der Mitternacht oder am frühen Morgen nächsten Tages, beim mittleren Stadium am Abend, und beim späteren Stadium wieder spät.

1) F. V. COLVILLE, The influence of cold in stimulating the growth of plants. Jour. of Agr. Res. 1920, Vol. 20, No. 21, p. 151.

2) W. LEPESCHKIN, Untersuchungen über das Frühlingsbluten der Birke und des Ahorns. Planta, 1917. Bd. 4, H. 1–2.

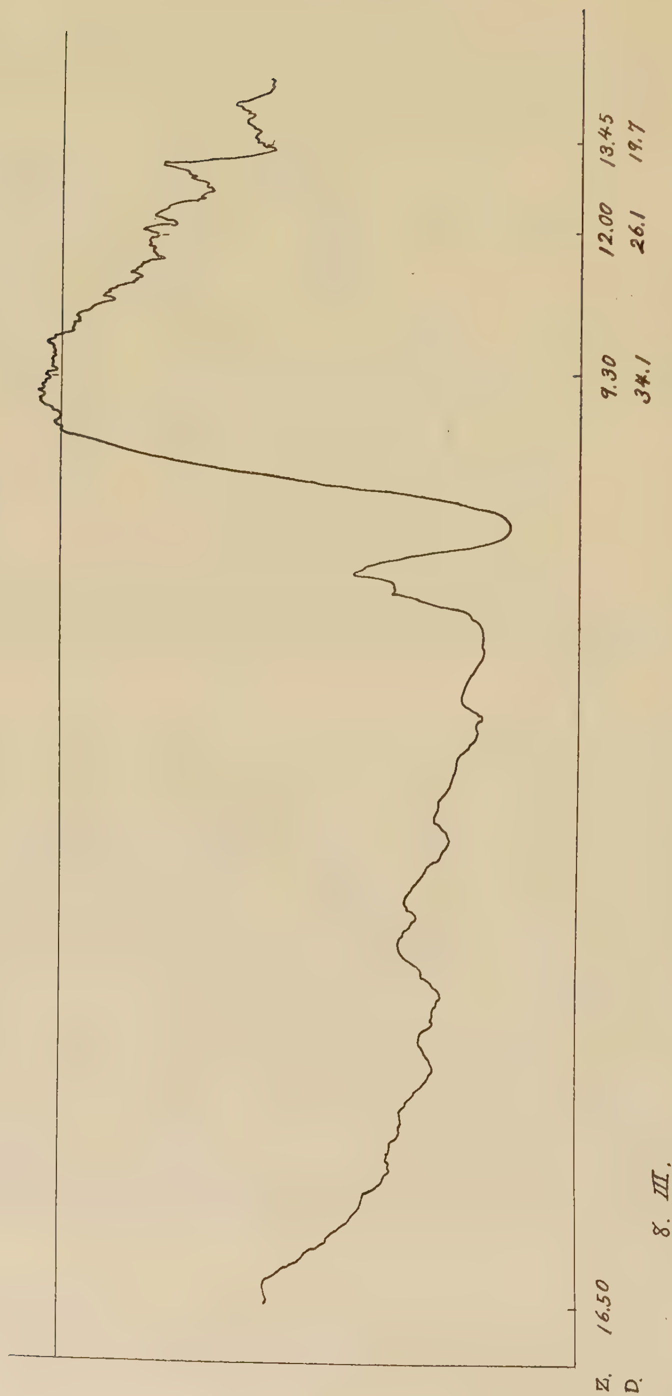


Fig. 4. Druckverlauf im früheren Blutungsstadium. Z, Zeit in Stunden auf der Abszisse, D, Druck in cm auf der Ordinate.

Nach den zeitlich verschiedenen Lagen des Druckminimums teile ich die vor dem Jahresmaximum gefundenen Kurven zuerst in zwei Gruppen ein, und stelle ihnen die beim späteren Stadium, also nach dem Jahresmaximum erhaltenen Kurven gegenüber.

a. Die Kurven des früheren Blutungsstadinms

Bei diesem Stadium verläuft die Nachtkurve, ohne streng angenommen zu werden, nach unten, weil sich das Druckminimum spät in der Nacht, sogar am frühen Morgen nächsten Tages zeigt. Es ist noch nicht klar, wie lange dieses Stadium dauert. Bei Baum I fand ich aber ein solches am Anfang März, und dabei zwei Arten Kurven, die eine mit dem Druckminimum in der Mitternacht, die andere aber am frühen Morgen des nächsten Tages. Die Kurve der letzteren Art (vergl. Fig. 4) scheint oberflächlich betrachtet der Lufttemperaturkurve parallel zu verlaufen. Der Fall ist aber ganz anders zu deuten und weist nur darauf hin, daß zu derselben Zeit der Blutungsdruck noch nicht stark genug ist, die Nachtkurve aufsteigen zu lassen. Da ein ähnliches Verhalten auch beim späteren Blutungsstadium stattfindet, so werde ich dort darüber ausführlich erörtern.

Nun ist es nicht klar, ob der Von BOSE[1] bei einem Baum von *Poinciana regia* nach dem Laubabfall beobachtete Fall meiner oben erwähnten jahresperiodischen Phase entspricht, oder phylogenetisch bestimmt ist. Sollte dort die letztere Möglichkeit wahrscheinlicher sein, so mag der BOSEsche Baum immer mit kleinem Blutungsdruck begabt sein.

b. Die Kurven des Hauptblutungsstadiums

Dieses Stadium ist durch eine beständig aufsteigenden Nachtkurve ausgezeichnet. Das Druckminimum erscheint, wenn vorhanden, am Abend oder in den früheren Stunden der Nacht. Die hierzu gehörenden Kurven werden je nach dem Wetter in folgenden Arten eingeteilt:

1. Kurve eines Schneetages.

Diese Kurve zeigt sich, wenn es beispielsweise ohne vorangehenden Regen schneit. Sie verläuft fast lineal aufsteigend, sodaß sich darin kein Druckmaximum und Minimum unterscheiden läßt. (vergl. Fig. 2).

1) a. a. O.



Fig. 5. Druckverlauf eines Regentages.
D...... Druck in cm auf der Ordinate.
Z...... Zeit in Stunden auf der Abszisse.

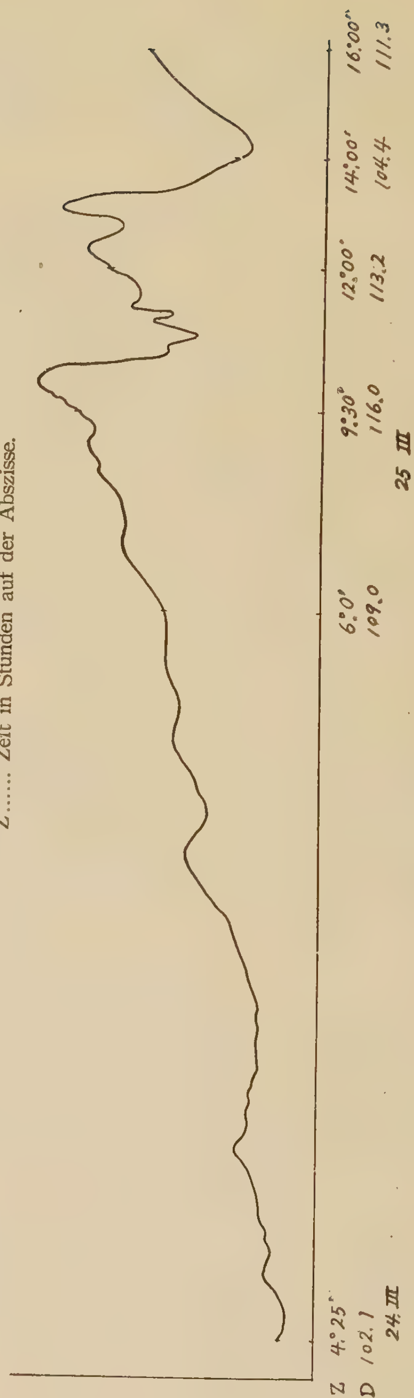


Fig. 6. Druckverlauf eines trüben Tages.

2. Kurve eines Regentages.

Diese Kurve tritt an Regentagen auf, oder an Schneetagen, die auf Regen folgen. Dieselbe ist besonders in den Tagesstunden mit geringen Druckschwankungen versehen. Sowohl das tagesperiodische Maximum als auch das Minimum ist dort kaum merklich, oder doch vorhanden, wenn die Auftrittszeiten der beiden auch sehr unregelmäßig sind. (vergl. Fig. 5).

3. Kurve eines trüben Tages.

Diese kommt nicht nur an trüben Tagen, sondern auch an einem auf einen Regen-oder Schneetag folgenden schönen vor. Trotzdem sowohl das tagesperiodische Maximum als auch das Minimum in jedem Fall mehr oder weniger deutlich ist, sind die Auftrittszeiten der beiden sehr unregelmäßig. Man sieht auf der Kurve die geringen, oder etwas merklichen Druck-Schwankungen, aber keine spitzige pulsatorische. (vergl. Fig. 6).

4. Kurve eines schönen Tages.

Die Kurve dieses Typus, die an klaren bis wenig wolkigen Tagen gefunden wird, charakterisiert sich durch das Vorhandensein von sowohl merklichem tagesperiodischem Maximum, als auch Minimum. Die Druckschwankungen sind vorübergehend, sodaß die dazu gehörende Kurve mit spitzigen Erhöhungen versehen ist.

Die Kurve dieses Typus wird je nach der zeitlichen Lage des Druckmaximums in zwei Untertypen eingeteilt.

a—Untertypus.

Die Kurve dieses Untertypus erfährt am frühen Morgen um sechs Uhr, oder etwas früher, eine ungewöhnliche Druckabnahme, die, wie es in einem späteren Abschnitt erörtert wird, entweder an einem Frostmorgen oder einem regnerischen frühen Morgen stattzufinden pflegt. (vergl. Abschnitt VIII).

Der Anfangsdruck der ungewöhnlichen Abnahme bildet das erste, in den meisten Fällen größere Druckmaximum, wobei man eine kaum merkliche Beeinflussung durch die Sonnenbestrahlung annehmen kann, während das sekundäre Druckmaximum unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung auftritt. (vergl. Fig. 7).

b—Untertypus.

Das tagesperiodische Druckmaximum dieses Untertypus entsteht immer unter der Beeinflussung durch die Sonnenbestrahlnng, also einige Stunden nach dem Sonnenaufgang, oder später am Vormittag. Sowohl das Druckmaximum

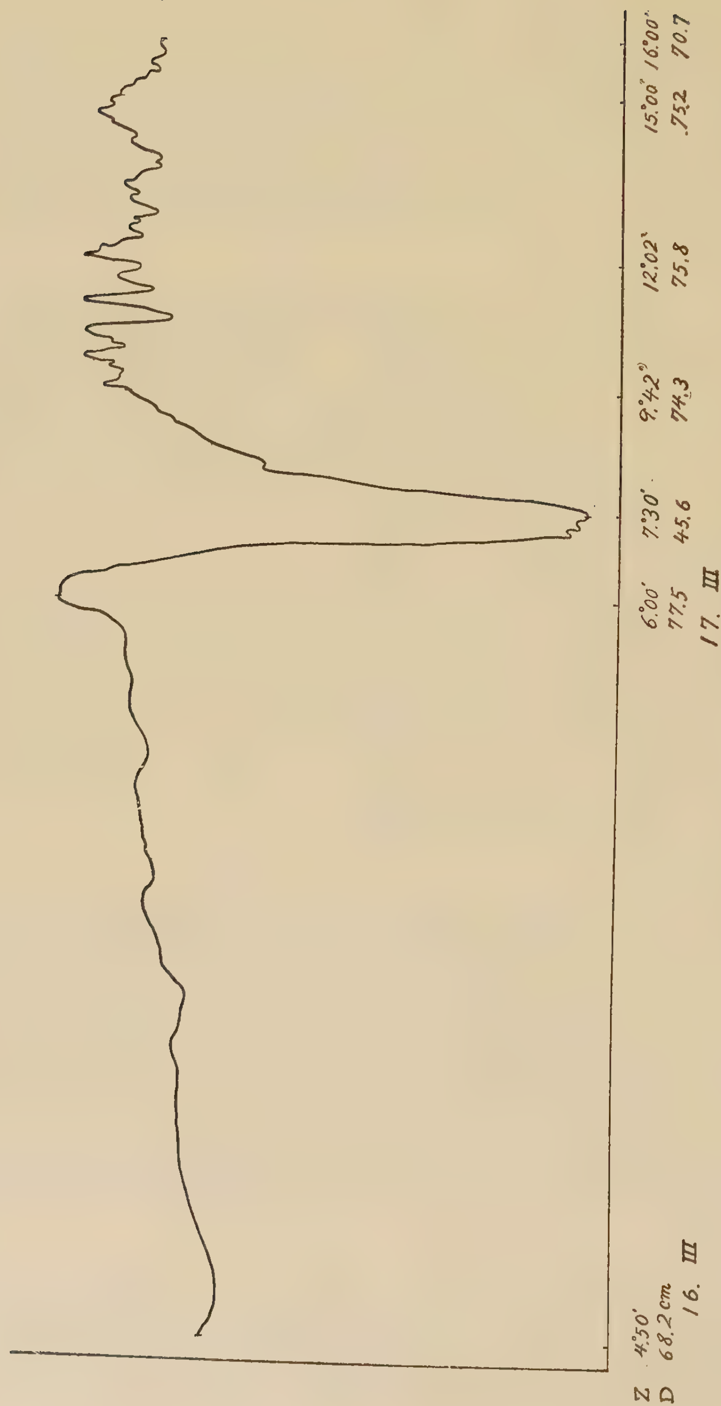


Fig. 7. Druckverlauf eines schönen Tages.

a—Untertypus mit einer ungewöhnlichen Abnahme.

als auch das—minimum ist bei diesem Untertypus, we bei dem oben erwähnten a—Untertypus und beim dritten Typus, ausgezeichnet. (vergl. Fig. 8).

Zeitpunkte des Druckmaximums und- minimums

Im folgenden möchte ich die je nach dem Wetter stark veränderlichen Zeitpunkte des Druckmaximums und- minimums während des Hauptblutungsstadiums bei Baum I darlegen.

Die Tabelle II zeigt, wie schon hervorgehoben, daß sowohl das Druckmaximum als auch- Minimum an Schneetagen fehlt und an Regentagen kaum merklich ist. Berechnet man die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Drucke an Regentagen, so findet man als solche nur 1–3 cm. Die zeitliche Lage der dabei gefundenen kardinalen Punkte ist auch sehr unregel-

Tabelle II.

1927. März	Wetter	Max. Druck,	Zeit	Min. Druck,	Zeit	Max-Min. Dr.
12.	Schön	56.0 cm	10^{00}	51.0 cm	17^{30}	5.0 cm
13.	Schnee	Kein Max.		Kein Min.		
14.	Trüb	65.0	12^{30}	61.0	13^{50}	4.0
15.	Regen	70.0	13^{45}	67.0	15^{40}	3.0
16.	Schön	73.0 (77.0)[1]	12^{00} (6^{00})	67.0 (45.0)	17^{30} (7^{30})	6.0
17.	Schön	75.8	12^{02}	68.0	17^{20}	9.0
18.	Trüb manchmal Regen	80.0	10^{40}	69.0	18^{00}	11.0
19.	Schnee	83.0	13^{00}	76.0	18^{00}	7.0
20.	Schön	Kein Max.		Kein Min.		
21.	Schön	96.0	10^{00}	82.0	15^{40}	14.00
22.	Schön	101.0	9^{35}	79.0	18^{05}	22.00
23.	Schön	104.0	9^{07}	83.0	17^{15}	21.00
24.	Schön	109.0	10^{50}	101.0	17^{55}	8.0
25.	Trüb um 16.30 Regen	118.0	10^{00}	104.0	14^{00}	14.0
26.	Regen	121 122	9^{50} 14^{00}	121.0	19^{50}	1.0
27.	Schön	129 (138)[1]	9^{30} (6^{00})	110.0	18^{10}	19.0
28.	Schön	129	10^{00}	107.0	20^{20}	21.0

1) Dieser Druck entspricht dem Anfangsdruck der ungewöhnlichen Abnahme, sodaß derselbe mit den maximalen Druckwerten anderer Tage nicht vergleichbar ist.

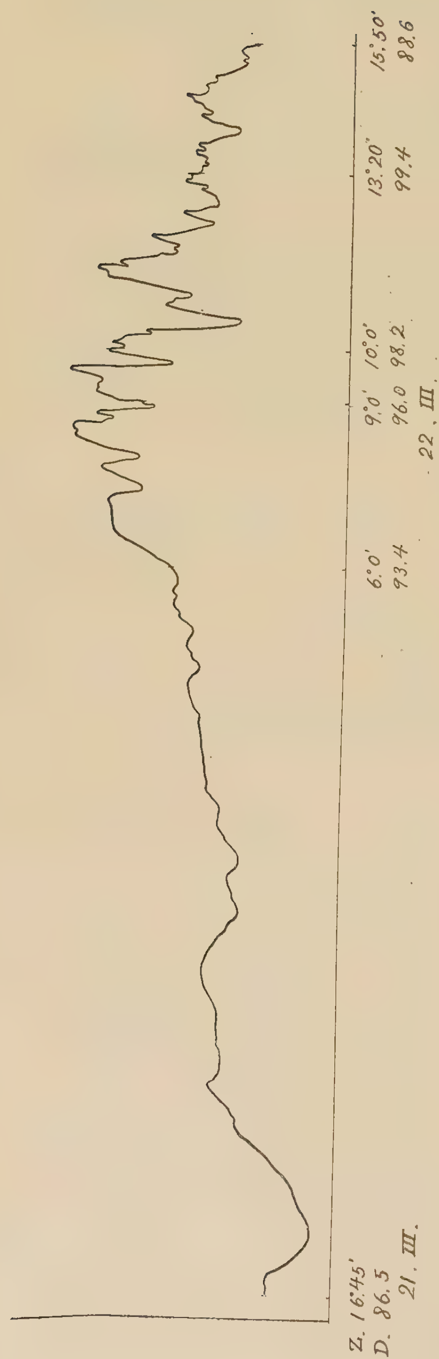


Fig. 8. Druckverlauf eines schönen Tages.
b—Untertypus mit keiner ungewöhnlichen Abnahme.

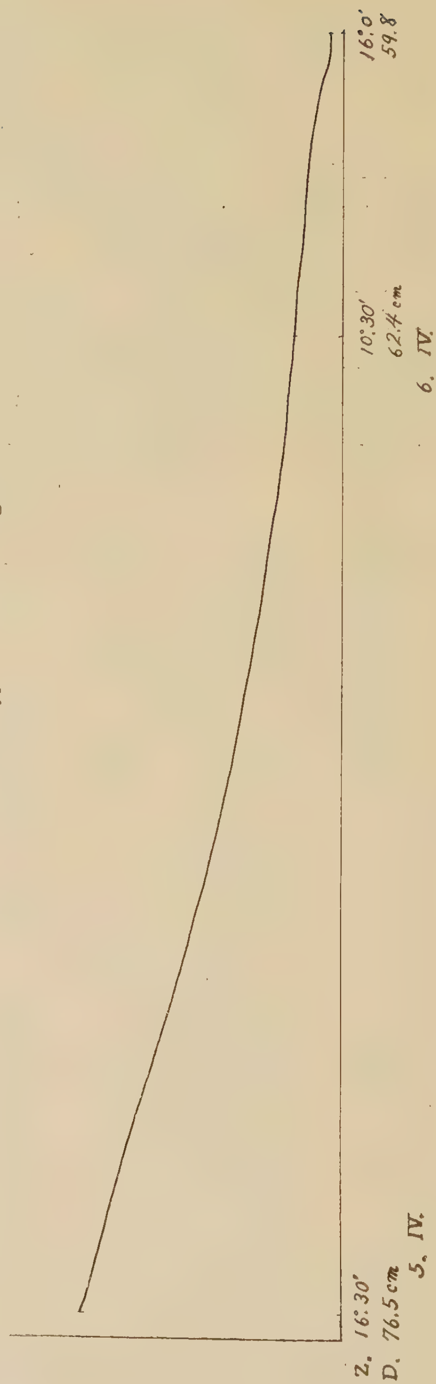


Fig. 9. Druckverlauf eines Regentages nach dem Erscheinen des Jahresmaximums.

mäßig. Auch an trüben Tagen, besonders, wenn es vorübergehend regnet, tritt sowohl das Druckmaximum, als auch- minimum unregelmäßig auf.

Alles oben erwähnte unregelmäßiges Vorkommen des Maximums und Minimums beruht sehr wahrscheinlich, was später durch Experimente unterstützt wird, auf den Wärmeschwankungen des Holzes, weil der auf dem Holz haften bleibende Schnee oder Regen je nach dem Wetter und der Zeitdauer des Haftenbleibens desselben Niederschlages in dem Wärmeverhältnis des Holzes eine mehr oder weniger große Veränderung hervorruft. Wenn es andauernd schneit oder regnet, so bedeutet dies soviel, als das Wärmeverhältnis des Holzes ungefähr konstant zu halten. Wenn es sich aber nach Regen oder Schnee aufheitert, so ist die Holztemperatur durch Verdunstung stark veränderlich, wodurch auch ein entsprechender Druckwechsel zustande kommt.

An schönen oder trüben Tagen tritt die Sonnenwärme mehr oder weniger in das Holz ein, und anderseits durch Ausstrahlung wieder aus, wodurch plötzliche spitzige Druckschwankungen hervorgerufen werden. In diesem Fall ist der Zeitpunkt sowohl des Maximums, als auch des Minimums im großen und ganzen regelmäßig. So z. B. liegt derselbe des ersteren, wegen einer nach der räumlichen Beziehung des Baumes I veränderlichen Sonnenbestrahlung, zwischen 9–11 Uhr, während der des letzteren meistens zwischen 17–18 Uhr auftritt.

Auf Grund der oben angegebenen Tatsachen ist besonders hervorzuheben, daß irgend ein Faktor, wie, z. B. Regen, Frost, Schnee, oder Sonnenbestrahlung, mehr oder weniger den Druckwechsel beeinflußt. Daß es sich dabei immer um den Wechsel der Holztemperatur handelt, wird im Abschnitt V genauer diskutiert werden.

γ. Druckwechsel nach dem Erscheinen des Jahresmaximums (späteres Blutungsstadium)

Nach dem Verlauf des Jahresmaximums wird der Blutungsdruck von Tag zu Tag immer kleiner, was einerseits durch das Kleinerwerden des Tagesmaximums, anderseits aber durch die immer absteigende Kurve an Regentagen (vergl. Fig. 9) deutlich zum Vorschein kommt. Einige Tage nach dem Verlauf des Jahresmaximums kommt ein Tagesmaximum mehr oder weniger merklich um 11 Uhr, schöne Tagen vorausgesetzt, zustande, während die pulsatorischen Druckschwankungen fast gänzlich[1] verloren gehen. (vergl. Fig. 10).

1) Um diese Zeit ist die Knospenentwicklung schon weit fortgeschritten, sodaß die Transpiration sehr merklich sein wird.

Später wird das Tagesmaximum immer unmerklicher, und die pulsatorischen Druckschwankungen verschwinden gänzlich[1] (vergl. Fig. 11).

Was nun die zeitliche Lage des Tagesminimums betrifft, so tritt dasselbe immer später, nämlich anfangs in der Mitternacht, in späteren Stadien aber sogar in der Frühe des nächsten Morgens auf. Die Druckkurve des letzteren Falles geht etwa parallel dem Wechsel der Lufttemperatur (vergl. Fig. 11). Diese Tatsache beruht sehr wahrscheinlich auf dem immer kleiner werdenden Blutungsdruck, der also die Lage des Druckminimums sich verspäten läßt. Das ähnliche Verhalten des Druckverlaufes in früheren Stadien (Stadium a) ist, wie schon hervorgehoben, auf einen ursprünglich kleinen Blutungsdruck, der die Wirkung der Lufttemperatur deutlich zu Tage treten läßt, zurückzuführen.

Aus den oben Erwähnten geht es hervor, daß das dem Wechsel der Lufttemperatur parallel gehende Verhalten des Blutungsdruckes nicht für alle Fälle, sondern nur für besondere jahresperiodische Stadien giltig ist. Schon haben wir im Hauptblutungsstadium ein ganz anderes Verhalten gesehen. Das Gleiche gilt auch für ein in späteren Zeiten vorliegendes Stadium, also am Ende April, wo der schon merklich gewordene negative Druck ein Minimum wieder am Abend bildet. Während der Nacht und des nächsten Morgens verläuft die Druckkurve nahezu horizontal, oder etwa aufsteigend, wobei ein kaum merkliches Maximum am späteren Vormittag auftritt. (vergel. Fig. 12). Was als Ursache dabei vorliegt, lasse ich an dieser Stelle unentschieden, weil experimentelle Beweise in späteren Abschnitten diskutiert werden. Die Annahme liegt aber nahe, daß die schon weit weniger merklich gewordene jahreszeitliche Druckabnahme unter dem Einfluß der Außenbedingungen, besonders der Sonnenbestrahlung und der die Transpiration regulierenden Bedingungen, den oben genannten Kurvenverlauf hervorruft. Jedenfalls ist die unter großer Transpirationsintensität erhaltene Druckkurve bei unserem *Cornus*-Baum weit abweichend von der von Bose bei einem belaubten Baum, *Pithecolobium*[2] gewonnenen Kurve. Bei mir ist die Transpiration nicht der einzige bestimmende Faktor, während dies bei Bose bejaht wird. Ob da eine Verschiedenheit der Jahreszeiten, oder der Arten vorliegt, ist aber noch nicht klar.

Nach den oben Gesagten können wir die je nach dem Verlauf des Jahresmaximums erhaltenen Druckkurven in folgende Arten einteilen.

---

1) Über die Ursache der verloren gehenden pulsatorischen Druckschwankungen vergleiche man Abschnitt IX.

2) l. c., p. 165.

1. Kurve eines Regentages.

Die Kurve ist mit keinem Druckmaximum und- minimum versehen, also immer absteigend. Es fehlt dabei die druckerhöhende Wirkung der Sonnenbestrahlung,[1] sodaß die Tendenz der jahresperiodischen Druckabnahme, unter dem Einfluß der Lufttemperatur und- Feuchtigkeit, deutlich auftritt. (vergl. Fig. 9).

2. Kurve eines schönen Tages.

Die Kurve ist mehr oder weniger deutlich mit sowohl Druckmaximum, als auch mit—Minimum versehen. Dabei zeigen sich sehr langsam vor sich gehende Druckschwankungen, aber keine pulsatorischen.

a. Vorstadium.

Druckmaximum und-Minimum sind ziemlich deutlich; das erstere stellt sich am Vormittag und das letztere am Abend ein. Damit verläuft die Nachtkurve immer aufsteigend. Einige Tage nach dem Verlauf des Jahresmaximums treten, außer dem Tagesmaximum und-Minimum, wenige langsame Schwankungen auf. Das vorliegende Stadium dauert vom Ende März bis zum Anfang des April. (vergl. Fig. 10).



Fig. **10.** Druckverlauf eines schönen Tages nach dem Erscheinen des Jahresmaximums. a—Typus: Vorstadium.

b. Mittelstadium.

Sowohl das Druckmaximum als auch das -Minimum ist undeutlich. Das erstere tritt etwa zur gleichen Zeit, wie bei dem Vorstadium ein, während das letztere in der Mitternacht oder am frühen Morgen des nächsten Tages auftritt. Die Kurve ist, von dem Maximum und Minimum entsprechenden Schwankungen abgesehen, mit keinen langsamen und pulsatorischen Schwan-

1) vergl. Abschn. V, d.

kungen versehen. Das vorliegende Stadium dauert vom Anfang April bis zur Mitte desselben Monates. (vergl. Fig. 11).

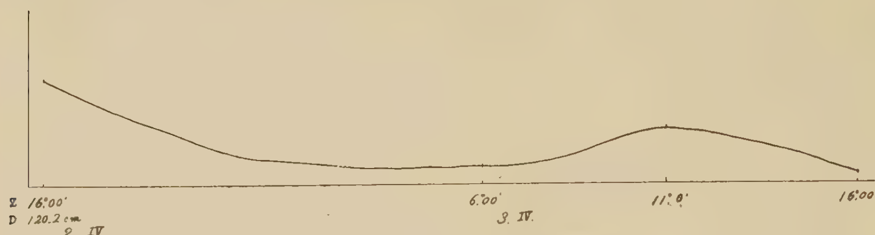


Fig. **11.** Druckverlauf eines schönen Tages nach dem Erscheinen des Jahresmaximums. b—Typus: Mittelstadium.

c. Nachstadium.

Das Druckmaximum tritt etwa zur gleichen Zeit wie bei dem Mittel- und Vorstadium hervor, das Druckminimum aber wieder, wie bei dem Vorstadium, am Abend. Die Differenz zwischen dem Druckmaximum und- Minimum ist sehr gering, sodaß sich beide kaum abheben. Dabei hersscht schon merklich negativer Druck, sogar unter −10 cm. Sowohl langsame, als auch pulsatorische Druckschwankungen gehen, von den dem Maximum und Minimum entsprechenden kaum merklichen Schwankungen abgesehen, verloren. Am Ende des April zeigt sich das vorliegende Stadium. (vergl. Fig. 12).

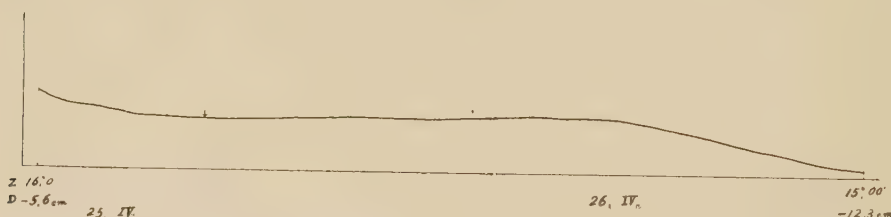


Fig. **12.** Druckverlauf eines schönen Tages nach dem Erscheinen des Jahresmaximums. c—Typus: Nachstadium.

IV. Beeinflussung des jahresperiodischen Druckwechsels durch die Außenbedingungen

a. Entstehungsweise des Blutungsdruckes

Bei der Abfassung des vorliegendes Abschnittes möchte ich zuerst den Begriff des Blutungsdruckes klar stellen. Nach einer sinnreichen Arbeit von FREY-WYSSLING[1] entspricht der von einem Manometer abgelesene Druck dem

1) a. a. O.

unter einer Mitwirkung des Wurzeldruckes entstehenden Außendruck, der von einer durch die lebendigen Zellen auf die Gefäße ausgeübten mechanischen Kraftleistung herrührt. Unter dem Wurzeldruck versteht WYSSLING den Filtrationsüberdruck, also den Druck, der den Filtrationswiderstand übertrifft. Da die den Gefäßen anliegenden Parenchymzellen bei normalen Zuständen, wie der Autor annimmt, Wasser den Gefäßen entnehmen, so dürfte der Wurzeldruck fast ausschließlich in den Wurzelteilen wirksam sein. Nach WYSSLING besteht also der Blutungsdruck, genauer der zusammengesetzte Blutungsdruck aus zweierlei Arten des Druckes, dem Wurzeldruck und dem Außendruck, oder anders reinem Blutungsdruck. MÜNCH[1] unterscheidet auch zwei Arten des Blutungsdruckes, die eine in der Wurzel, die andere aber im Stamm. Die beiden sind aber prinzipiell gleichartig, nur in ihrer mechanischen Entstehungsweise verschieden. Es ist ohne weiteres klar, daß der MÜNCHsche Blutungsdruck in der Wurzel, wenn man die Entstehungsmechanik außer Acht läßt, dem Wurzeldruck von WYSSLING entspricht. Es ist aber durchaus fraglich, ob der MÜNCHsche Blutungsdruck im Stamm in seinem ursprünglichen Sinne still stehen kann, weil die von diesem Autor angenommene Mechanik noch auf einem ganz bedingten Grunde basiert. Ob das MÜNCHsche Schema der Saftzirkulation[2] während der Blutungszeit möglich ist, soll in jedem Falle experimentell bewiesen werden. An den nach der MÜNCHschen Weise abgelösten und gut vor Abtrocknung geschützten Rindenstreifen von *Cornus* (Cambium mitgenommen), die oben oder unten mit der Mutterrinde in Verbindung standen, vermochte ich hingegen keine Saftausscheidung wenigstens im März zu finden. Somit zur damaliger Zeit die wasserauspressende Wirkung des absteigenden Phloemsaftes nicht bei unserem Cornusstengel denkbar. Nach meinen eigenen mit einem MAC-DOUGALschen Dendrograph ausgeführten Messungen findet die cambiale Tätigkeit des Cornusbaumes nicht im März, sondern erst zu Anfang April statt (vergl. Fig. 13). Diese Tatsache stützt klar ersichtlich den eben gesagten Schluß, weil damit die cambiale Wasserabscheidung im Stammteil wenigstens während der Hauptblutungszeit außer Acht gelassen wird.

Die MÜNCHsche Entstehungsweise des Wurzeldruckes ist aber auch bei *Cornus* möglich, da die Entwicklung neuer Wurzeln[3] hier schon am Ende des

1) a. a. O.

2) Nach Curtis (Studies on the tissues concerned in the transfer of solutes in plants. Ann. of Bot. 1925) wandern die Stoffe in Siebröhren sogar in entgegengesetzter Richtung, was natürlich gegen Münch spräche.

3) Eine neue Wurzel unterscheidet sich von alten braunen Wurzeln durch ihre weiße, etwas hyaline Farbe.

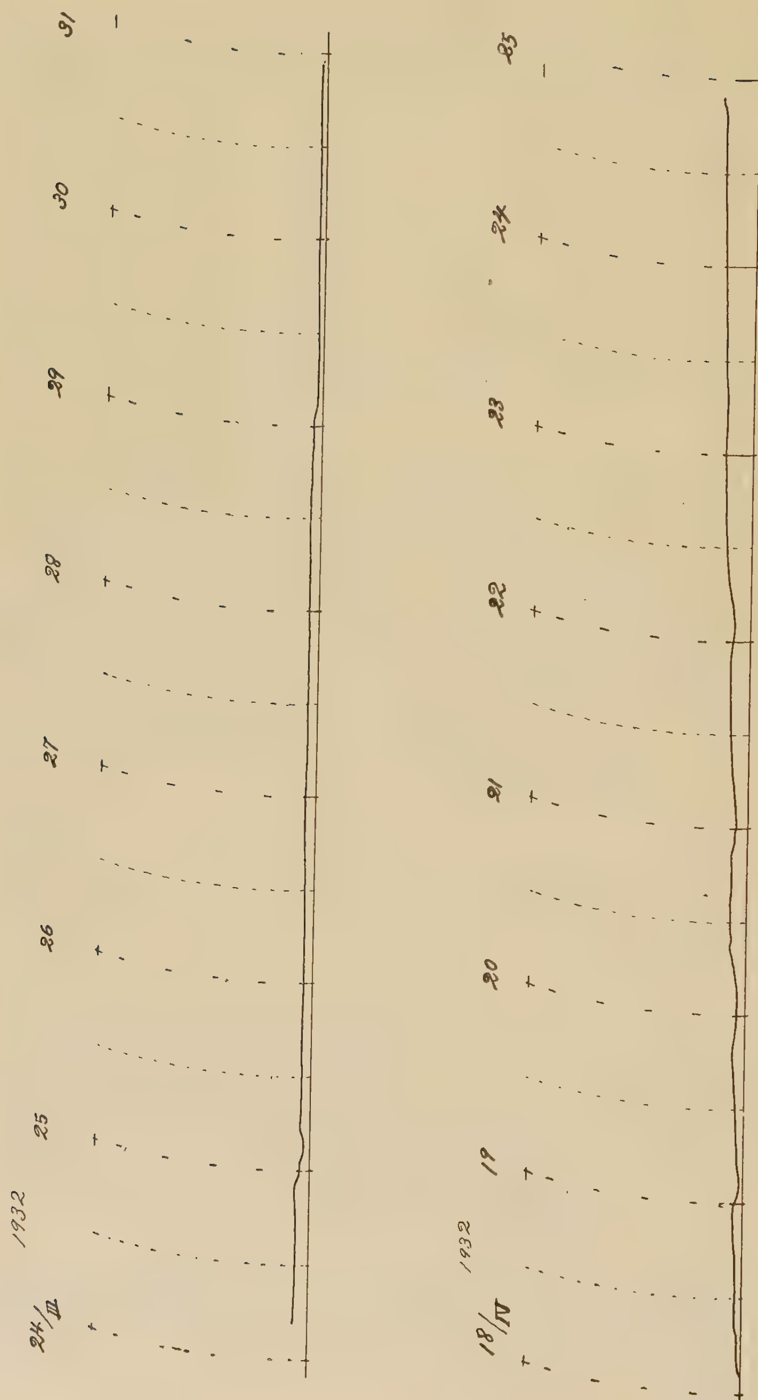


Fig. **13.** Dendrographen des *Cornus*-Baumes (II) während des März (oben) und April (unten). Die Registrierung geschah am Stammteil, dessen Durchmesser 27.7 cm maß. Datum auf der Abszisse; Zuwachsgröße, etwa sechsmal vergrößert, auf der Ordinate.

Februar, also zur Zeit der anfangenden Blutung üppig von Statten geht. Um ein klares Bild dafür zu erhalten, habe ich bei einem etwas zwanzigjährigen Baum die ohne Abtrennung von der Mutterwurzel von der Erde frei und sauber gemachte Wurzel millimeterweise mit Chinesischer Tusche markiert und das ganze Versuchsmaterial in ein Glasröhrchen hineingetan, so daß ich von Tag zu Tag sein Wachstum beobachten konnte. Der Versuch wurde am 14. März 1936 angestellt. Am 18. desselben Monates konnte ich nur bei drei Wurzeln unter zwölf zum Versuch herangezogenen ein geringes Längenwachstum erkennen.

Weiter habe ich denselben Versuch bei drei beträchtlich aus der Erde herausgehobenen Keimlingen ausgeführt. Unter acht markierten Wurzeln habe ich nur bei einer eine geringe Längenzunahme wahrgenommen. Schlechtes oder kein Wachstum der beobachteten Wurzeln beruht sehr wahrscheinlich auf einem unnatürlichen Zustand, weil in jedem Falle sowohl das Welken als auch Trocknen der Wurzel vor sich ging.

Die obigen, wenn auch unvollkommenen, Versuche, sowie Beobachtungen geben uns zur Genüge den Hinweis, daß das Wurzellängenwachstum bei normalem Zustande während der herrschenden Blutungszeit in merklicher Weise vor sich geht. Angesichts des Auftretens von Rindenspalten der Wurzel schon zu Anfang März kann man auch das Dickenwachstum desselben Organs während der Blutungszeit annehmen.

Auf Grund dieser Tatsachen ist der MÜNCHsche Stoffwechsel in der Wurzel während der Blutungszeit leicht anzunehmen. Es ist aber noch fraglich, ob seine Theorie für alle Blutungszeiten giltig ist.

Nun haben wir uns mit der Kritik der Ursprungschen Theorie der polaren Saugkraftdifferenz zu befassen. Nach einer schwierigen Zellmethode kamen URSPRUNG und BLUM[1] zum Schluße, daß auf der an das Gefäß angrenzenden Innenseite des Parenchyms der *Vicia*-Wurzel ein Druck von 8.7 bzw. 9 Atm, auf der Außenseite aber ein solcher von 13.7 Atm herrscht. Da der Wanddruck der Zelle auf 9.2 Atm berechnet wurde, so hat die Zelle an ihrer Außenseite einen Druck von 3.5, an der dem Gefäß anliegenden Seite von 0.5 oder −0.2 Atm., also negativen Druck. Die Parenchymzelle muß also immer nach den Gefäßen den Saft auspressen. Es ist ganz selbstverständlich, daß URSPRUNG die Ursache des Blutungsdruckes mit solcher Saugkraftdifferenz zu erklären versuchte. Ob solche Saugkraftdifferenz aber immer existiert, oder ob dabei

1) l. c.

ein Versuchsfehler vorliegt, ist zur Zeit ganz problematisch, weil die dabei benutzte Methode sehr schwierig ist. Schon von theoretischen Seiten her erhoben sich mehrere Einwände,[1] die ebenfalls eine rein osmotische Erklärung für schwierig, aber die Mitwirkung einer elektrischen Kraft für möglich halten, ohne jedoch zu einer bestimmten Erklärung zu gelangen.

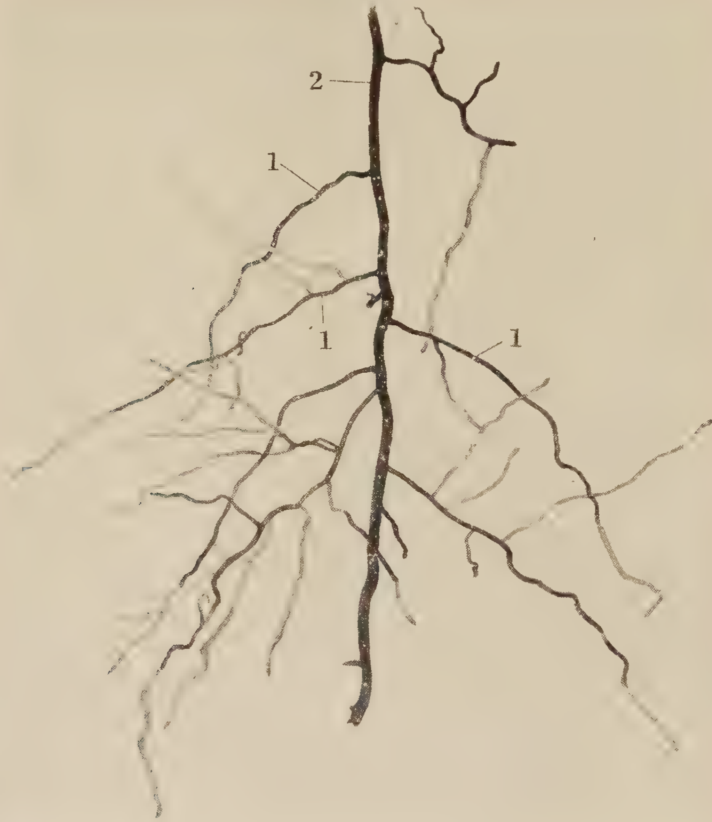


Fig. **14.** Alter und Entwicklungszustand der Wurzel von *Cornus* am 26. März 1936.

Die dicke Wurzel in der Mitte (2) ist zweijährig. Alle anderen (1 und andere) sind aber einjährig, hyaline Teile am jüngsten.

Nun möchte ich die Möglichkeit des WYSSLINGschen Außendruckes erörtern. Daß die Gefäßwände elastisch sind und deren Innenraum stark veränderlich

1) V. H. BLACKMAN. Osmotic pressure, root pressure, and exudation. New Phyt. 1921, 20.

ist, ist schon von BODE[1] auf mikroskopischem Wege bewiesen, was wohl die Möglichkeit eines osmotischen Außendruckes stützt. Schon hat MAC DOUGAL[2] die Beteiligung einer solchen Kraft für das Zustandekommen des Blutungsdruckes in *Carnegia*, sogar bei einem wurzellosen Stammstück hervorgehoben.

Nun fragt es sich, ob der Außendruck, nur im WYSSLINGschen Sinne, also durch einen lebendigen osmotischen Vorgang von Statten geht. Schon haben MERVIN und LYON[3] eine durch die Wärmekontraktion und- expansion der Holzwände verursachte Veränderung des Gefäßlumens auf vortreffliche Weise bewiesen. Daß ein solcher physikalischer Außendruck bei *Cornus* zu Stande kommt, werde ich im Abschnitte V, C erklären.

Aus den obigen Anführungen kann man entnehmen, daß zwei Arten von Außendrucken mit dem eigentlichen Wurzeldruck für das Zustandekommen des Blutungsdruckes tätig sind.

Im folgenden werde ich zunächst den jahresperiodischen Wechsel des osmotischen Außendruckes, als dessen Skala die G. P. E. des Blutungssaftes angenommen wurde, erörtern.

b. Wechsel der G. P. E. des Blutungssaftes, und Einfluß der Außenlösung auf den Druckwechsel eines Wurzelstumpfes

Ich möchte den Blutungssaft, wie es schon von FR. WYSSLING bemerkt wurde, nicht für einen normalen Gefäßsaft, sondern für einen pathologischen[4] halten, weil die nahe beim Bohrloch befindlichen Gefäßteile durch die Wanddruckabnahme plötzlich, sogleich nach der Bohrung Wasser aus den angrenzenden Parenchymzellen zu absorbieren vermögen. Das Öffnen des gepfropften Bohrloches könnte dieselbe Wirkung, wie eine neue Bohrung, auf die Saftausscheidung aüsüben. Auf Grund der oben erwähnten Tatsachen, habe ich den nach dem Öffnen des gepfropften Bohrloches ausfließenden Saft in zwei Dosen gesondert entnommen, nämlich den in den ersten zehn Minuten, und den in den darauf folgenden zehn Minuten ausfließenben Saft.

Zur Entnahme des Blutungssaftes bediente ich mich eines etwa dreißig-

1) H. R. BODE. Beiträge zur Dynamik der Wasserbewegung in den Gefäßpflanzen. Jahrb. f. w. B. 1923, H. 1.

2) D. T. MAC DOUGAL. Absorption and exudation pressures of sap in plants. Proc. Amer. Phil. Soc. 1925, No. 2.

3) a. a. O.

4) Die Tatsache, daß die Saftmenge irgend eines Bohrloches von Tag zu Tag immer kleiner wird, stützt auch diese Annahme.

jährigen (1935) Baumes, den ich später einfach Baum II nennen werde. Am Grunde dieses Baumes habe ich die erste Bohrung etwa 30 cm hoch über dem Boden, die zweite 227 cm weiter oben, die dritte 138 cm weiter oben, und die vierte wieder 115 cm weiter oben vorgenommen. Alle diese Bohrungen lagen etwa in einer senkrechten Richtung, sodaß die direkte Verbindung der Wasserströmung ermöglicht wird. Jedes Bohrloch wurde mit einem Kautschukpfropfen solange geschlossen, als die Saftentnahme nicht stattfand.

Nun möchte ich über die zeitliche Verschiebung in Bezug auf das Zustandekommen des positiven Druckes an verschiedenem Bohrlöchern berichten.

Beim ersten und zweiten Bohrloch schon vom 14. März des Jahres 1935 an, beim dritten erst vom 19., beim vierten erst vom 25. an wurde immer ein positiver Druck beibehalten. Ich habe im Jahre 1936 beim ersten vom 10. März an immer einen positiven Druck beobachtet, während beim zweiten noch an demselben Tag ein negativer Druck wahrzunehmen war. Wir dürfen also schließen, daß ein ständig positiver Druck erst unten, später aber in der Reihenfolge nach oben entsteht. Diese Tatsache bedeutet sehr wahrscheinlich, daß der Wurzeldruck jahresperiodisch von Tag zu Tag zunimmt.

Wie im Abschnitt VI eingehender dargelegt wird, ist der Blutungsdruck der unteren Stellen eines Baumes größer als derjenige der oberen. An beiden Stellen geht nicht nur der tagesperiodische, sondern auch der jahresperiodische Druckwechsel etwa in demselben Umfang von statten. Diese, sowie die oben erwähnte Tatsache beweist klar, daß die jahresperiodische Druckzunahme hauptsächlich im unteren Teil, oder anders, in der Wurzel vor sich geht. Natürlich ist der an jedem Tag beobachtete Blutungsdruck mit dem unter komplizierten Außenbedingungen entstehenden Außendrucke vermischt. Besonders bei der jahresperiodischen Druckzunahme, wie z. B. bei der jeden Morgen um sechs Uhr gefundenen Druckzunahme, ist der osmotische Außendruck mit dem Wurzeldruck verquickt. Wenn man also den jahresperiodischen Blutungsdruckwechsel klar zu stellen unternimmt, so ist es unbedingt notwendig, den Wechsel des osmotischen Außendruckes zu studieren. Für diesen Zweck habe ich unter Berücksichtigung der Vorsichtsmaßregeln von H. WALTER[1] die G. P. E. des Blutungssaftes[2] gemessen, und damit den osmotischen Druck desselben berechnet. In der folgenden Tabelle sind die osmotischen Drucke der aus

1) Vergl. Handb. d. biolog. Arbeitsmeth. Abt. XI, Teil 4, H. 4, 1931.

2) Die Messung der G. P. E. des Saftes wurde von Herrn Dr. M. TSUDA ausgeführt, wofür ich an dieser Stelle herzlichst danke.

Tabelle III.

Wechsel des osmotischen Druckes des Blutungssaftes neben demjenigen der Luft- und Bodentemperatur

(Hierzu gehört Fig. 15)

Zeit	Stamm-saft	Osmotischer Druck		L–T	B–T
Datum (März 1936)	1ste Bohrung	I-Entnahme Druck (Uhr)	II-Entnahme Druck (Uhr)	Während der vorangehenden 24 Stunden	Während der vorangehenden 24 Stunden
11. „	„	36.5 cm (10^{30})	36.5 cm (10^{50})	3.5° C	4.1° C
12. „	„	36.5 (10^{30})	41.0 (10^{55})	4.8	4.5
13. „	„	36.5 (10^{30})	31.6 (11^{00})	11.0	5.3
14. „	„	18.2 (10^{30})	18.2 (10^{50})	11.3	7.1
15. „	„	9.1 (10^{30})	13.7 (10^{54})	11.5	8.1
16. „	„	22.8 (10^{30})	22.8 (10^{55})	7.4	8.3
17. „	„	22.8 (10^{35})	22.8 (11^{00})	6.9	7.5
18. „	„	22.8 (10^{30})	22.8 (11^{00})	10.1	7.6
19. „	2te Bohrung	27.4 (10^{30})	31.9 (11^{40})	8.0	8.5
20. „	„	31.9 (10^{30})	36.5 (10^{50})	5.2	7.8
21. „	„	27.4 (10^{30})	31.9 (10^{55})	10.2	7.9
22. „	„	22.8 (10^{35})	27.4 (11^{00})	8 0	8.3
23. „	„	27.4 (10^{30})	31.9 (10^{55})	6.3	8.3
24. „	„	27.4 (10^{30})	27.4 (10^{55})	5.6	8.1
25. „	„	31.9 (10^{30})	31.9 (10^{55})	3.9	8.3
26. „	„	31.9 (10^{30})	41.0 (10^{55})	2.7	7.6
27. „	„	31.9 (10^{30})	36.5 (11^{00})	6.2	7.0
28. „	Wurzel-saft[1])	73.0 (11^{45})	——	11.1	7.8
29. „	„	73.0 (10^{30})	82.0 (10^{46})	12.4	9.6
30. „	„	82.0 (10^{30})	86.6 (10^{46})	10.2	10.5
31. „	„	50.2 (10^{30})	50.2 (10^{46})	4.4	10.1
1. Apr.	„	45.6 (10^{30})	45.6 (10^{46})	7.0	9.4
2. „	„	45.6 (10^{30})	50.2 (10^{50})	7.8	9.8

1) Wurzelsaft wurde einer an der Bodenoberfläche verlaufenden Wurzel entnommen.

verschiedenen Bohrlöchern ausgeflossenen Säfte in cm Hg aufgezeigt. Bei der dabei zugefügte Luft- und Bodentemperatur in der Tiefe von 30 cm handelt es sich um die durchschnittlichen Werte von 10 Uhr des vorigen bis 9 Uhr des betreffenden Tages. Die Werte beider wurden der Genauigkeit halber den vom meteorologischen Zentralobservatorium gewonnenen Daten entnommen.

Nach der Tabelle III wissen wir zuerst, daß der osmotische Druck des aus dem unteren Stammteil blutenden Saftes je nach den Außenbedingungen stark variiert. Und zwar ersieht man, daß derselbe mit bem Lufttemperaturwechsel etwa invers proportionell geht.

Es stellt sich auch aus der Tabelle deutlich heraus, daß der später ausfließende Saft in den meisten Fällen konzentrierter als der zuerst ausfließende ist. Diese Tatsache bestätigt die am Anfang dieses Kapitels aufgestellte Annahme, daß nämlich der spät ankommende Saft den aus den anliegenden Parenchymzellen sezernierten Saft in höherem Grad als der erst ausfließende enthält. Anders gesagt, vermag der osmotische Druck bzw. des spät ausfließenden Blutungssaftes in gewissem Sinne denjenigen der an das Gefäß angrenzenden Parenchymzellen aufzuweisen. Wenn nun die Parenchymzellen (Markstrahlzellen und Holzparenchymzellen) einen osmotischen Außendruck auf die Gefäße ausüben, so dürfte der resultierende Druck je nach dem osmotischen Druck der genannten Zellen variieren. Natürlich müssen die mit hohem osmotischem Druck begabten Parenchymzellen einen entsprechend hohen Außendruck ausüben, weil sie dabei unter einer genügenden Wasserversorgung stehen. Es ist nun selbstverständlich, daß an den auf kaltes Wetter folgenden Tagen ein hoher osmotischer Druck des Saftes, also dementsprechend ein hoher osmotischer Außendruck herrscht.

Für das Zustandekommen eines Blutungsdruckes am unteren Stammesteil ist auch die Mitwirkung des Wurzeldruckes hoch einzuschätzen. Es besteht aber zur Zeit noch völlige Unklarheit darüber, auf welches Weise irgend ein Wurzeldruck repräsentiert wird.

Aus der Tabelle III sieht man, daß der osmotische Druck des aus der Wurzel gebluteten Saftes bis auf ein Maximum, das etwa mit dem Jahresmaximum des Blutungsdruckes zusammenfällt, auf- und danach wieder absteigt. Wenn man diese Erscheinung dahin deutet, daß der osmotische Druck des Wurzelsaftes dem eigentlichen Wurzeldruck entspricht, so fasst man den letzteren im osmotischen Sinne auf, ohne eine bestimmte Ursache dafür aufzuweisen.

Um ein klares Bild hiervon zu gewinnen, habe ich mit einem Wurzel-

stumpfe von *Cornus* über den Einfluß der Kulturlösung auf den Blutungsdruck desselben Wurzelstumpfes, also anders auf den Wurzeldruck Untersuchungen angestellt.

Zu diesem Zwecke habe ich eine kleine dreijährige *Cornus*-Pflanze, die schon im vorigen Jahr mit Sand und einer geringen Menge von Gartenerde,

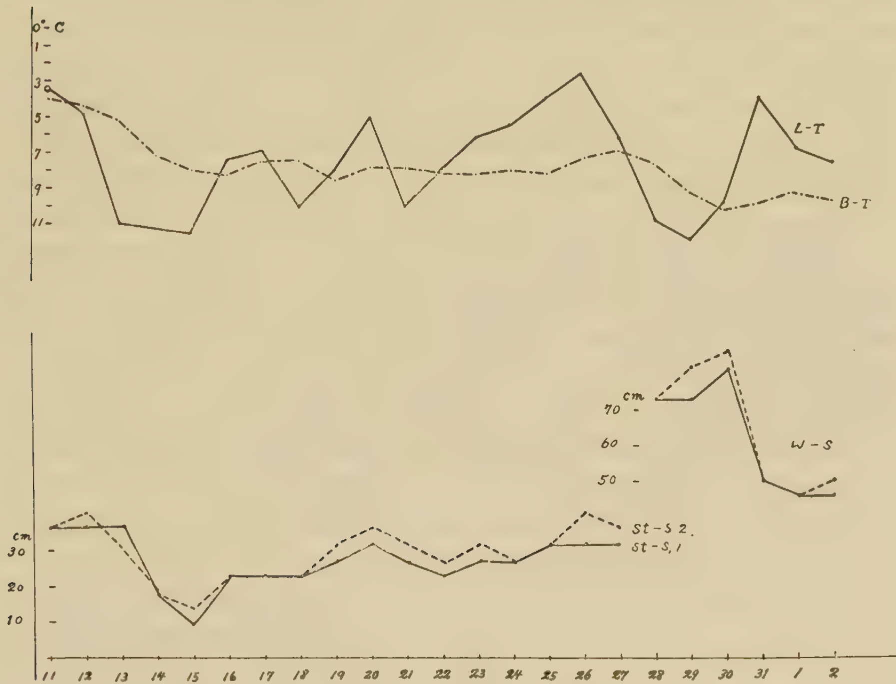


Fig. 15. Wechsel des osmotischen Druckes des Stengel- und Wurzelblutungssaftes neben dem Verlauf der Boden- und Lufttemperatur.

W-S...... Wurzelblutungssaft.
St-S, 1... Stengelblutungssaft, erste Entnahme.
St-S, 2... „ , zweite „
B-T...... Mittlere Bodentemperatur der vorangehenden 24 Stunden.
L-T...... Mittlere Lufttemperatur „ „ 24 Stunden.

später aber mit Leitungswasser kultiviert wurde, verwendet. Fast der ganze Stengel wurde, außer etwa ein cm langen Grundteil, worauf ein kleiner Manometer befestigt wurde, abgeschnitten. Als Kulturlösung diente mir eine 5,[1] 2.5–, 1– oder 1/2–fache Knopsche Nährlösung, von welcher je 500 cm in ein zylindrisches Kulturgefäß eingefüllt wurde.

1) 5–fache Knopsche Nährlösung entsprach dem osmotischen Druck von 2.52 Atm.

Ich verzichte der Kürze halber auf die Versuchsprotokolle, aber es sei nur darauf hingewiesen, daß die Temperatur der Kulturlösung während des Versuches fast konstant beibehalten war.

Als ich zuerst am 26. März 1935 den Wurzelstumpf in 1/2–Lösung brachte, zeigte derselbe einen Druck von +2.0 mm. Weiter am 27. desselben Monats, in 5–Lösung, aber −16.0 mm. Daraus könnte man schließen, daß die Wurzel zur derselben Zeit einen viel geringeren osmotischen Druck als 2.52 Atm. besaß.

Als ich nun den Wurzelstumpf wieder in 1/2–Lösung zürück brachte, nahm der Blutungsdruck beständig zu. Am 29. betrug der Druck wieder +2.0 mm. Dann habe ich den Wurzelstumpf nach einander in 1–, 2.5–, und 5–Lösung. In 1–Lösung blieb der Druck fast unverändert, in 2.5–Lösung +1.5–1.0 mm, in 5–Lösung aber 0. Diese Resultate zeigen uns, daß eine langsame Konzentrationszunahme der Kulturlösung eine entsprechende Zunahme des Wurzeldruckes hervorbringen kann. Das rührt sehr wahrscheinlich von dem Permeieren irgend eines Nährstoffes in die Wurzel, und weiter von einer regulatorischen Erhöhung des osmotischen Druckes der Wurzel her.

Auf Grund dieser und auf der Seite 104 beschriebenen Resultate dürfen wir darauf schließen, daß der Wurzeldruck jedenfalls als eine osmotische Erscheinung betrachtet werden könnte, einerlei ob es sich bei deren Ursache um eine osmotische, oder elektrische Kraft handelt.

Nach Gebhardt[1] ist die jahresperiodische Wurzeldruckzunahme von *Mais* und *Helianthus* auf das Eindringen der Wurzel in die verschiedenen Bodenhorizonte, oder auf den Wechsel der Bodenfeuchtigkeit zurückzuführen. Es ist aber nicht klar, ob dies auch bei unserem *Cornus*-Baum der Fall ist. Ich habe einmal den osmotischen Druck des Bodenpreßsaftes, der der Probe aus der Tiefe von 10 cm entnommen wurde, gemessen und die folgenden Werte erhalten.

1935	März			April		Mai
Datum	16.	20.	23.	4.	13.	1.
Druck	9.1 cm	9.1	18.2	27.4	22.8	27.4
Wetter	Wenig Regen	Schön	Wolkig	Schön	Schön	Schön

Es stellt sich also heraus, daß der Bodensaft von Anfang gegen das Ende des März konzentrierter wird. Leider war es wegen diskontinuierlicher Mess-

1) a. a. O.

ungen unmöglich, zu bestimmen, ob das Maximum des Blutungsdruckes, das immer am Ende des März stattfindet, genau mit der höchsten Konzentration des Bodensaftes zusammenfiel.

Man kann wohl für das Zustandekommen des Blutungsdruckes in der Wurzel nicht nur die Beteiligung des eigentlichen Wurzeldruckes, sondern auch die des physikalischen Außendruckes in Betracht ziehen. Da die Bodentemperatur sich nicht merklich verändert, so ist der Einfluß desselben Außendruckes auf den Blutungsdruckwechsel nicht hoch zu schätzen.

Nun werde ich im folgenden erwähnen, wie tief im Boden die *Cornus*-Wurzeln verlaufen, und welche Temperatur dort herrscht.

Merkwürdigerweise verlaufen die *Cornus*-Wurzeln so flach im Boden, daß man sie in den meisten Fällen oberhalb der Tiefe von 50 cm findet. Dieses Verhältnis bleibt auch bei einem ziemlich großen Baum bestehen. So fand ich an einem an Umfang am Grunde etwa 78 cm messenden Baume (III) fast ganze kleine Wurzeln in den Tiefen von 20–30 cm und großen Wurzeln immer in der Nähe der Bodenfläche. Zwar ging eine große Wurzel einmal in die Tiefe von 30 cm, später aber an die Bodenoberfläche, danach wieder nach unten, so daß die daraus aussprossenden kleinen Wurzeln oft dicht unter der Bodenfläche gelagert sind. Eine solche knieförmige Krümmung der Wurzel findet man auch bei Baum I. So scheint dieselbe Eingenschaft immer üblich bei dem *Cornus*-Baum sein. Wir finden da eine stark aerobe Eigenschaft der *Cornus*-Wurzel, die für das Zustandekommen eines großen Blutungsdruckes, wie es schon durch die Wirkung des Sauerstoffes[1] bewiesen ist, notwendig zu sein scheint.

Nun werden wir prüfen, welche Temperatur in verschiedenen Bodenhorizonten während der Hauptblutungszeit gefunden wird.

Nach den durch das meteorologische Zentralobservatorium gewonnenen Daten finden wir durchschnittlich in Tokyo von Januar bis März die folgenden Bodentemperaturen.

Tiefe\Monat	Januar	Februar	März
0.3 m	—	5.2	8.7 C
0.6 m	7.3	6.7	8.4 C

Wegen einer milden Bodentemperatur ist schon im Februar ein gewisses Wurzelwachstum zu erwarten. Nach meinen eigenen Beobachtungen geht die Bodentemperatur in der Tiefe von 10 cm nach Schnee oder Frost nie unter

1) L. L. JOST, Versuche über die Wasserleitung in der Pflanze. Z. f. Bot 1916.

2° C, so daß zu dieser Zeit noch das Wurzelwachstum nicht auszuschließen ist.

Der Bodentemperaturwechsel während eines Tages ist viel kleiner. Es sei hier nur auf zwei Beispiele, die am 14. und 15. März 1931 gewonnen wurden, hingewiesen.

Zeit\Tiefe	10	30	50	90 cm
14., 0–24 Uhr	1.9	0.2	0.2	0.1 °C
15., 0–24 Uhr	1.9	0.2	0.1	0.2 °C

Es herrscht also im Boden, wo die *Cornus*-Wurzel sich befindet, ein kaum merklicher Temperaturwechsel, weshalb auch ein kaum merklicher Wechsel des Außendruckes in der Wurzel während eines Tages anzunehmen ist.

Wir haben schon betont, daß der tägliche Wechsel des osmotischen Außendruckes im Stengel schwankend, aber derjenige in der Wurzel immer fortschreitend bis auf das Jahresmaximum vor sich geht. Also ist der jahresperiodische Druckwechsel, soweit es sich um das Stadium vor dem Jahresdruckmaximum handelt, vorwiegend durch die Veränderung des osmotischen Außendruckes sowohl des Stengels, als auch der Wurzel bestimmt, ohne aber die Mitbeteiligung des physikalischen Außendruckes der Wurzel daran auszuschließen. Unter dem soeben genannten, jahresperiodischen Druckwechsel verstehe ich aber die Druckveränderungen unter dem Abschluß der Sonnenbestrahlung.

Unter der Sonnenbestrahlung tritt die Mitwirkung des physikalischen (thermischen) Außendruckes der Stengelteile stark in den Vordergrund, wodurch besonders der tagesperiodische Druckwechsel zustande kommt.

V. Die Beeinflussung des tagesperiodischen Druckwechsels durch die Außenbedingungen

In diesem Abschnitte wird der durch die Außenbedingungen verursachte tagesperiodische Blutungsdruckwechsel, unter dem ich, soweit nicht anders gesagt wird, die vor dem Auftritt des Jahresmaximums stattfindende Druckveränderung verstehe, diskutiert werden.

a. Die Beeinflussung durch die Bodentemperatur

Zu dem vorliegenden Versuche wurde eine etwa siebenjährige an Umfang des Stengelgrundes ca 10 cm messende Topfpflanze verwendet. Der Topf stand in einem mit Wollentuch bedeckten, doppelwandigen Zinkkasten. Kurz

vor dem Versuche wurden die oberen Teile der Pflanze, außer dem mit einem Ast versehenen ca 40 cm langen Stengelstumpfe, an dessen oberem Ende ein Manometer mittelst eines Kautschukpfropfens befestigt wurde, abgeschnitten.

Unter solchen Versuchsbedingungen war der Temperaturwechsel des Topfbodens im Verhältnis zu demjenigen der Luft viel geringer, und zwar während der Dauer weniger Stunden fast unmerklich. So betrug im Verlauf von 6.5 Stunden der erstere nur 3.5° C, während der letztere 10° C erreichte. Der Blutungsdruck veränderte sich in diesem Fall dem Lufttemperaturverlauf fast parallel. Nun habe ich warmes Wasser zwischen die Kastenwände gegossen, und nachher den Temperaturwechsel des Topfbodens und den Blutungsdruckwechsel beobachtet. Die dabei erhaltenen Versuchsprotokolle waren die folgenden:

13. März 1929. (Hierzu Fig. 16)

Zeitverlauf	15^{30}	16^{00}	16^{15}	16^{30}	17^{00} Uhr
Lufttemp.	19.5	19.4	17.7	17.1	17.1 °C
Bodentemp.	9.0	12.8	14.3	15.7	20.7 °C
Druck	3.0	3.8	4.7	5.6	7.5 cm

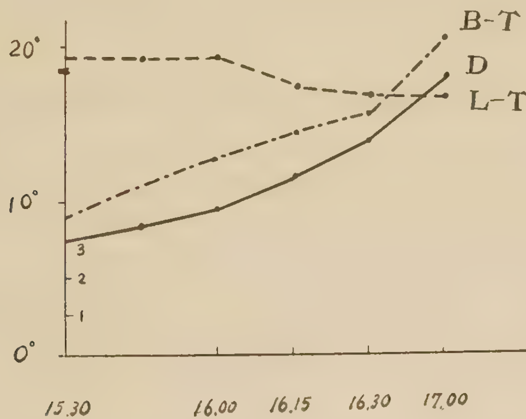


Fig. **16.** Der parallel gehende Blutungsdruck- und Bodentemperaturwechsel; der Lufttemperaturwechsel verläuft aber anders.

Stundenverlauf auf der Abszisse, Temperatur- und Druckverlauf auf der Ordinate.

Nach diesem Versuche ist es ohne weiteres klar, daß der Blutungsdruck dem Bodentemperaturwechsel parallel geht.

Weiterhin versuchte ich die Wirkung des abgekühlten Topfbodens festzustellen. Die dabei gewonnenen Resultate waren die folgenden:

26. März 1928.

Stunde	15^{00}	15^{55}	17^{20}	17^{45}	18^{30} Uhr
L–T	19.0	19.0	19.0	20.0	20.0 °C
B–T	20.0	19.0	15.5	14.0	13.0 °C
Druck	17.15	16.55	15.3	15.1	14.9 cm

Dieser Versuch erhellt ebenfalls gleich dem obigen, wie innig der Blutungsdruck und die Bodentemperatur mit einander in Verbindung stehen.

Im Freien ist die Beeinflussung durch die Bodentemperatur aber kaum anzunehmen, weil der tägliche Wechsel derselben, wie schon im Abschnitte IV bemerkt wurde, fast unmerklich ist.

Mit welchem Mechanismus hat man es nun bei dem vorliegenden Druckwechsel zu tun? Aus dem schnellen und reversiblen Verlauf desselben Druckwechsels geht deutlich hervor, daß es bei der vorliegenden Erscheinung sich um den Wechsel des physikalischen, sowohl an der Wurzel, als auch am unteren Stammteil tätigen Außendruckes, wovon im folgenden C Kapitel genauer die Rede sein wird, handelt. Es ist also hier besonders hervorzuheben, daß der jahresperiodische maximale Blutungsdruck der Versuchspflanze des Jahres 1929 durch die künstliche Erhöhung der Bodentemperatur bestimmt wurde.

b. Die Beeinflussung durch die Lufttemperatur

Während des Tages verändert sich der Blutungsdruck einer im Laboratorium kultivierten Topfpflanze von *Cornus controversa* etwa je nach dem Lufttemperaturwechsel. Im vorigen Kapitel a ist schon darauf hingewiesen, daß die verhältnismäßig konstante Bodentemperatur dafür verantwortlich ist. Im folgenden möchte ich eine andere Beobachtung, die auch unter derselben Versuchsvorrichtung wie im vorigen Kapitel erhalten wurde, erwähnen.

Versuchsdauer: 14–15 März 1929. (vergl. Fig. 17)

Datum	Uhr	B–T	L–T	Blutungsdruck
14.	17^{30}	9.5 °C	11.5 °C	11.3 cm
15.	9^{30}	8.0 „	3.6 „	9.3 „
	10^{30}	8.0 „	8.0 „	9.5 „
	11^{30}	8.2 „	11.0 „	9.9 „
	13^{00}	7.0 „	14.7 „	10.4 „
	14^{00}	7.0 „	16.2 „	10.7 „
	15^{00}	6.9 „	13.0 „	10.3 „
	16^{30}	7.5 „	13.0 „	9.2 „

Es bedarf kaum der Erörterung, daß es sich bei dem vorliegenden Druckwechsel um denselben Mechanismus wie beim obigen Fall handelt.

Der Blutungsdruckwechsel der Topfpflanze während der Nacht geht manchmal der Lufttemperatur nicht parallel, was wohl mit dem jahreszeitlichen Wurzeldruckaufstieg zusammenhängt.

Im allgemeinen ist der bei einer in das Laboratorium gestellten Topfpflanze beobachtete Blutungsdruckwechsel im Vergleiche zu demjenigen des im Freien stehenden Baumes sehr einfach, also sind keine vorübergehenden Schwankungen anzutreffen. Daß das Fehlen eines plötzlichen Wärmewechsels des Baumes dabei eine hauptsächliche Rolle spielt, wird im folgenden Kapitel ermittelt werden.

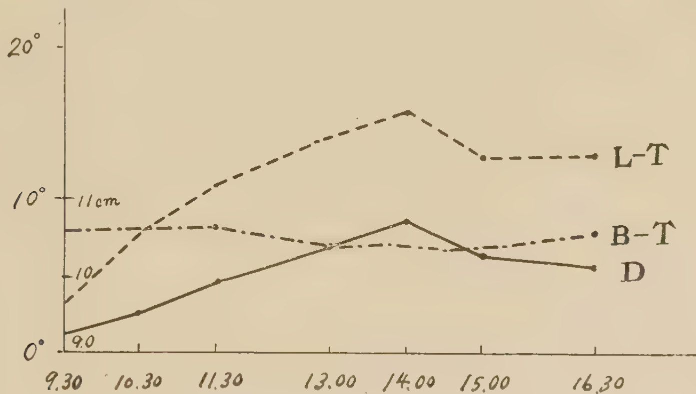


Fig. 17. Der parallel gehende Blutungsdruck- und Lufttemperaturwechsel. Stunden, auf der Abszisse. Temperatur u. Druck auf der Ordinate.

c. Beeinflussung durch künstliche Erhitzung und Abkühlung

An einem schönen Tage erfährt der Druck immer, wie man es schon im III. Absch. gesehen, vorübergehende Schwankungen. Um zu bestimmen, ob die vorliegenden Druckschwankungen mit der Ein- und Ausstrahlung der Sonnenwärme zu tun haben, habe ich einen zum Versuch herangezogenen Stengel mit verschiedenen Heizmitteln erhitzt und später ruhig in der Luft des Laboratoriums, oder mit einem elektrischen Fächer abgekühlt. Außerdem habe ich den Stengel mittelst eines Eisgemisches abgekühlt.

Die Versuche wurden einmal in derselben Weise, wie beim vorangehenden Kapitel a und b, ein anderes Mal aber mit einem abgeschnittenen Stengelstücke ausgeführt.

1. Versuche mit einer Topfkultur

C_1—Versuch.

Bei diesem Versuche beabsichtige ich zu beobachten, in welcher Weise der Druckwechsel vor sich geht, wenn ein *Cornus*-Baum direkt ohne vorgehende Erhitzung abgekühlt wird. So habe ich die Topfpflanze dreißig Minuten lang dem Luftstrom eines elektrischen Fächers ausgesetzt. Merkwürdigerweise blieb dabei der Druck ganz unverändert:

Datum	Uhr	B–T	L–T	Druck
März, 19.	14^{00}	13.75 °C	16.85 °C	20.5 cm
„	14^{30}	14.0 „	16.0 „	20.5 „

Auf Grund dieses Versuches ist es klar, daß der Einfluß des Windes auf den Druckwechsel unter dem Ausschluß direkter Sonnenbestrahlung kaum merklich ist. Der Fall liegt aber anders, wenn der durch die Sonnenbestrahlung erwärmte Stengel durch den Wind getroffen wird. Der folgende C_2—Versuch gibt hierfür einen schönen Beweis.

C_2—Versuch. (Hierzu Fig. 18)
Versuchsdauer: 14^{30}–16^{40}, 21. März 1929.
Verlauf der Lufttemperatur 12–14 °C.

Als Wärmequelle diente ein elektrischer Heizkörper, der in verschiedener Entfernung von dem Versuchsbaum stand.

Die fünf nach verschiedenerlei Behandlung erhaltenen Druckwechselweisen, die in der Fig. 18 ersichtlich sind, sind die folgenden.

Man erkennt aus diesem Versuche einen dem Erhitzen oder Abkühlen genau folgenden Druckauf- oder- abstieg. Merkwürdig ist eine im Falle 4 beobachtete pulsatorische Druckschwankung, die in späteren Versuchen öfters zutage tritt. Ob dieselbe auf einem Versuchsfehler beruht, wird im nächsten Versuche diskutiert werden.

Um zu konstatieren, welche Temperatur die in obiger Weise erhitzte Pflanze in ihrem Holz aufweist, habe ich einen Thermometer am Ende eines an Umfang etwa 10 cm messenden Stengelstumpfes eingeführt, und unter Erhitzung den Temperaturverlauf desselben beobachtet. Die Heizquelle befand sich in einer Entfernung von 60 cm von der Versuchspflanze, wo sich in der Mitte des etwa 1 cm dicken Holzteils die Thermometerkugel befand. Nach 30 Minuten langer Erhitzung zeigte sich sogar ein Temperaturaufstieg um 10 °C.

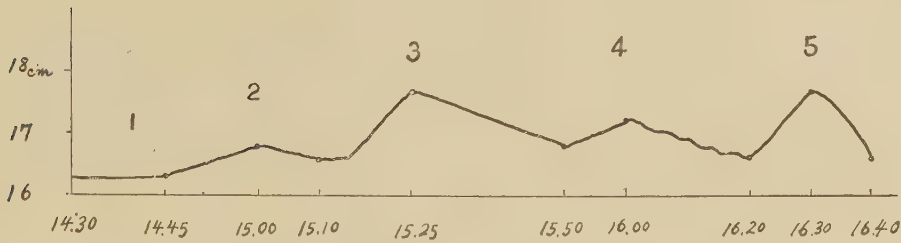


Fig. 18. Druckwechsel einer am Stengel erhitzten Topfkultur von *Cornus controversa.* (Erklärung im Text).

Auf der Ordinate, Druckhöhe; auf der Abszisse, Stundenverlauf.

1 Durch alleiniges Blasen mit einem elektrischen Fächer geht kein Druckwechsel von statten.

2 Der durch die Erhitzung und die damit parallel gehende Abkühlung durch einen elektrischen Fächer verursachte Druckwechsel. Wärmequelle in der Entfernung von 120 cm von der Pflanze.

3 Der bei ruhiger Belassung nach der Erhitzung im Laboratorium (12.9 °C) erhaltene Druckwechsel. Wärmequelle in der Entfernung von 60 cm von der Pflanze.

4 Der durch Behandlung in derselben Weise wie bei 3 erhaltene Druckwechsel. Laboratoriumsluft, 13.7 °C, und Wärmequelle in der Entfernung von 120 cm. Beachtenswert ist hier die pulsierende Druckabnahme.

5 Der durch Behandlung in derselben Weise wie bei 3 und 4 erhaltene Druckwechsel. Laboratoriumsluft 14 °C, und Wärmequelle in der Entfernung von 60 cm.

Beim C_2—Versuche wurde der ursprüngliche Druckwechsel etwa auf 1/3 verkleinert registriert, so daß die kleine Druckschwankung nicht klar zum Vorschein kommt. Daher habe ich beabsichtigt, die Kurve in einer weiter vergrößerten Form zu erhalten. Mit Hilfe einer Pfefferschen Rolle und Registriertrommel gelang es mir eine 8 Mal vergrößerte Kurve zu erhalten. Ein solcher Versuch wird im folgenden erörtert werden.

C_3—Versuch. (Hierzu Fig. 19)

Versuchsdauer: 12^{00}–13^{00} Uhr, 27. März 1929

Dauer der Erhitzung: 12^{00}–12^{30}

Elektrische Heizmittel stand in einer Entfernung von 60 cm von der Versuchspflanze

Uhr	Druckwechsel	L–T	B–T	Bemerkung
12^{00}	10.3 cm	12.5 °C	12.0 °C	Erhitzung beginnt
12^{30}	11.8 „	13.5 „	13.7 „	Erhitzung hört auf, in der Laboratoriumsluft ruhig gestellt.
13^{00}	11.0 „	12.7 „	12.3 „	

In Fig. 19 ist man eine kleine pulsierende Druckschwankung ersichtlich. Ich halte die Ursache dieser Erscheinung teils für einen Versuchsfehler, größtenteils aber für eine innerliche durch Wärmeeinstrahlung und- Ausstrahlung verursachte Schwingung der Zellwände. Eine solche doch in 8-Mal vergrößerter Kurve kleine Druckschwingung würde bei der 1/1 oder 1/3-Kurve kaum merklich sein.



Fig. 19. Druckwechsel durch die Wärmeein- und- ausstrahlung. Erklärung im Text.

In Fig. 19 ist auch ersichtlich, daß die Druckzunahme sogleich nach der Erhitzung beginnt, und dieselbe nach Aufhören der Erhitzung etwa 2 Minuten lang sich in fast derselben Geschwindigkeit wie vorher weiter fortsetzt. Der spätere Druckverlauf ist im Vergleich zu demjenigen auf dem Wege des Druckaufstieges viel langsamer und zwar am Anfangsstadium fast horizontal abnehmend. Alle diese Tatsachen entsprechen ohne Zweifel einer langsameren Wärmeausstrahlung.

Um die Abkühlungsweise sich modifizieren zu lassen, und die Einwirkung der abermaligen Erhitzung zu konstatieren, habe ich den folgenden C_4—Versuch ausgeführt. In diesem Versuche habe ich nämlich sogleich nach Sistieren der Erhitzung mit einem elektrischen Fächer abgekühlt und nach 15 Minuten langer Abkühlungsdauer wieder erhitzt.

C_4—Versuch. (Hierzu Fig. 20)

Versuchsdauer: 10^{40}–11^{25} Uhr, 27. März 1929.

Zeitverlauf	Druck	L–T	B–T	Bemerkung
10^{35} Uhr	10.1 cm	11.7 °C	13.0 °C	10^{35}–10^{40}, ohne Erhitzung.
10^{40} „	10.1 „	11.7 „	13.0 „	10^{40}–10^{55}, erhitzt.
10^{55} „	10.7 „	11.5 „	13.0 „	10^{55}–11^{10}, abgekühlt.
11^{10} „	10.5 „	11.7 „	12.5 „	11^{10}–11^{25}, wieder erhitzt.
11^{25} „	10.7 „	12.0 „	12.5	

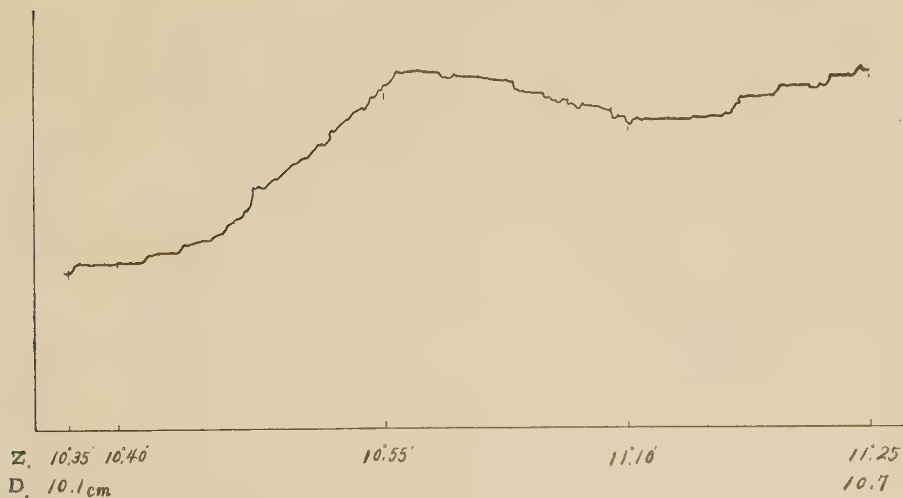


Fig. 20. Druckwechsel durch die Abkühlung eines elektrischen Fächers und abermalige Erhitzung. Erklärung im Text.

In Fig. 20 bemerken wir zuerst, daß die Zeitdauer des nach Sistieren der Erhitzung weiter fortgesetzten Druckaufstiegs, also der Nachwirkung der Erhitzung etwa um 1 Minute abgekürzt wurde. Die horizontal langsam untergehende Zone ist ebenfalls deutlich abgekürzt. Dagegen ist die Geschwindigkeit des Druckabstiegs kaum verändert. Daraufhin kann man den Einfluß des Windes auf den Verlauf einer Druckkurve nicht hoch einschätzen. In der Tat beobachtet man kaum im Freien den durch die Windgeschwindigkeit beeinflussten Kurvenverlauf.

In Fig. 20 ist auch die Einwirkung der zweitmaligen Erhitzung, die derjenigen der erstmaligen Erhitzung weit nachsteht, beachtenswert. Daraus ist ersichtlich, daß eine begrenzte thermische Expansion, anders gesagt, eine



Fig. 21. Ein merkwürdiger durch Abkühlung und darauf folgende Erhitzung hervorgerufener Druckwechsel. Druckhöhe auf der Ordinate, Stundenverlauf auf der Abszisse.

optimale Expansion der Zellwände dabei vorliegt. Diese Tatsache stellt einen Hinweits dar, daß die thermische Druckzunahme wenigstens nicht von der Expansion der im Gefäß fraglichen Gase herrührt.

Außerdem interessiert uns Fig. 20, wie es im Freien infolge der veränderlichen Sonnenenergie öfters zum Vorschein kommt, durch das Vorhandensein von zwei Maxima.

C_5—Versuch.

Um den Mechanismus der thermischen Druckzunahme weiter klar zu stellen, habe ich den Stengel mit Hilfe von zwei mit einem Eisgemische gefüllten Zinkgefäßen, deren innere Seiten etwa in halbzylindrischer Form so ausgehöhlt, daß der Stengel dazwischen gut paßt, abgekühlt. Die Versuchsprotokolle fielen folgendermaßen aus:

Versuchsdauer: 14–16 Uhr, 27. März 1929. (vergl. Fig. 21)

Zeitverlauf	Druck	L–T	B–T	T. des Stengels	Bemerkung
14^{05}	10.4 cm	13.2 °C	12.2 °C	°C	14^{05} beginnt die Abkühlung.
15^{05}	11.0 „			−11.0	Bis 14^{35} setzt sich Druckabnahme fort.
15^{35}	11.35 „			− 7.0	Um 15^{35} beginnt die Erhitzung.
16^{05}	9.9 „				

Die nach der Abkühlung erfolgende Druckabnahme sistierte sich etwa in zwanzig Minuten, und darauf folgte ein Aufstieg in merklicherer Weise. Als ich nun den Stengel erhitzte, so nahm der Druck, gegen meine Erwartung, stark ab. Eine solche Erscheinung ist nicht möglich, sofern die Eisbildung und das- schmelzen nicht vor sich gehen. Die vorliegende, dem gewöhnlichen thermischen Druckwechsel widersprechende Tatsache kann aber am natürlichen Standort kaum vorkommen, weil der Stengel so schlimmen Bedingungen, wie z. B. eine Stunde lang unter—11 °C zu bleiben, nicht einmal ausgesetzt wird.

2. Versuche mit einem abgeschnittenen Stengelstücke

Um die Wechselweise des Blutungsdruckes unter dem Abschluß des Wurzeldruckes weiter zu verfolgen, habe ich denselben mit einem abgeschnittenen Stengelstücke, das etwa 26.5 cm lang war und 10 cm an Umfang maß, studiert.

Am unteren glatt und sauber gemachten Ende desselben Stengelstückes wurde ein kurzer Glaszylinder mittelst eines großen Kautschukpfropfens befestigt, am oberen ebenfalls wie am unteren behandelten Ende aber ein Manometer mit Hilfe eines T–förmigen Glaszylinders.

Durch den an den unteren Glaszylinder angesetzten Kautschukpfropfen geht eine Glasröhre, am deren Ende weiter eine lange mit dicker Wand versehene Kautschukröhre befestigt wurde. Diese Kautschukröhre, an deren Ende eine Glastrichter angesetzt wurde, wurde nach oben gekrümmt gehalten, so daß der Trichter aufrecht steht. (vergl. Fig. 22).

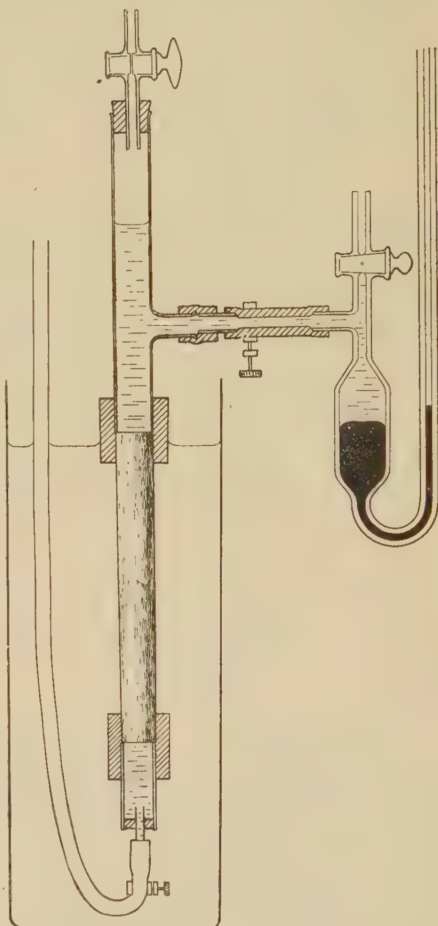


Fig. 22. Die Versuchseinrichtung mit einem abgeschnittenen Stengelstücke.
In der Mitte, Stengelstück im Bad des gekochten Wassers.
An der rechten Seite, Quecksilbermanometer. (Erklärung im Text).

Kurz vor dem Versuch wurden sowohl die obere und untere Glaszylinder, als auch die ganzen Kautschukröhren luftdicht mit nach Kochen gekühltem Wasser gefüllt. Als ich nun das so präparierte Stengelstück mit einer elektrischen Wärmequelle erhitzte, erreignete sich ein wunderbarer Druckwechsel, der etwa in ziemlich ähnlicher Weise wie derselbe bei der Topfpflanze verlief. Der folgende C_6— Versuch stellt ein Ergebnis dieses Experiments dar:

C_6—Versuch.

Versuchsdauer: 16^{50}–17^{30} Uhr, 15. April 1929. (Hierzu Fig. 23)

Zeit	Druck	L–T	Bermerkung
16^{50}	1.6 cm	19.6 °C	16^{50}–17^{15} dauert die Erhitzung.
17^{15}	2.3 „	19.5 „	Um 17^{15} hört die Erhitzung auf.
17^{30}	1.6 „		17^{15}–17^{30} ruhig in der Luft.

Der dabei beobachtete Druckwechsel unterscheidet sich, wie Fig. 23 zeigt, von demjenigen der Topfpflanze nur durch eine verkürzte Nachwirkung der Erhitzung, und einen viel schnelleren Druckabstieg. Diese beiden Tatsachen erklären sich durch eine plötzlichere Wärmeausstrahlung als bei der bewurzelten Pflanze.



Fig. 23. Druckwechsel eines abgeschnittenen Holzstückes. (Erklärung im Text).

Nun ist es uns unbedingt nötig, denselben Versuch mit einem möglichst der Gasblasen beraubten Holzstücke zu wiederholen. Deswegen habe ich den obere Glaszylinder an eine Ölpumpe angeschlossen, und dann die am oberen Raum desselben Glaszylinders übrig gebliebene Luft, unter dem Abschluß der Verbindung des Glaszylinders mit dem Manometer, evakuiert, so daß die im Stengelstücke enthaltenen Gasblasen fortwährend emporstiegen. Das in dem unteren Glaszylinder und in der Kautschukröhre enthaltene Wasser stieg auch durch das Holz, wahrscheinlich durch dessen Gefäße in den oberen Glaszylinder auf, sodaß ich das so emporgestiegene Wasser von Zeit zu Zeit beseitigen und die von dem unteren Glaszylinder verloren gehende Wassermenge ergänzen mußte. Nach dieser Vorbehandlung wurde das Stengelstück insgesamt mit dem unteren Glaszylinder und der Kautschukröhre unter das in einem Zinkkasten enthaltene Wasser gestellt, weil sonst die inneren Gewebe des Stengelstückes auf dem Wege der Lentizellen mit der atmosphärischen Luft in

Verbindung stehen und damit die Wirkung des Evakuieren ganz erfolglos machen würden. Nachdem, unter der oben beschriebenen Einrichtung, die Verbindung des unteren Glaszylinders mit der Kautschukröhre unterbunden war, wurde das Stengelstück noch eine Stunde evakuiert. Gleich nach der Beendigung des Evakuierens habe ich dasselbe Stengelstück aus dem Wasser heraus gebracht, und nach Abwischen desselben erhitzt.[1]

Merkwürdigerweise habe ich nun gegen meine Erwartung eine Druckabnahme beobachtet. Die folgenden Protokolle und dazu gehörige Fig. 24 zeigen uns, wie ein charakteristischer Druckwechsel dabei vor sich geht.

C_7—Versuch. (Hierzu Fig. 24)

Vorangehendes Evakuieren: Eine Stunde.

Versuchsdauer: 18^{25}–18^{55} Uhr, 15. April 1929.

Zeit	Druck	L-T	Bemerkung
18^{35}	1.6 cm	16.9 °C	18^{25}–18^{50} dauert die Erhitzung.
18^{50}	1.5 „	16.9 „	Um 18^{50} sistiert die Erhitzung.
18^{55}	1.0 „	16.9 „	Nach 18^{50} stand ruhig in der Luft.



Fig. 24. Die nach Auspumpen vor sich gehende Druckabnahme, die die Einwirkung der Erhitzung überdeckt. Erklärung im Text.

1) Natürlich wurde dabei die von dem unteren Glaszylinder ausgepumpte Wassermenge ergänzt und der obere Glaszylinder luftdicht mit Wasser gefüllt.

Nach diesem Versuch ist es ohne weiters klar, daß der durch Evakuieren im Stengelstück entstehende negative Druck die Wirkung der Erhitzung überdeckt. Für diese Annahme bietet die nach Sistieren der Erhitzung schneller werdende Druckabnahme einen schönen Beweis dar. Man beobachtet am Anfang des Evakuierens ein sofortiges, später aber ein langsames Wasseraufsteigen in dem oberen Glaszylinder; nach dem Sistieren des Evakuierens dagegen geht ein Wasserabsteigen in demselben Glaszylinder in ähnlicher Geschwindigkeit wie beim Aufsteigen vor sich. Nach einigen Beobachtungen habe ich erkannt, daß je länger das Evakuieren dauert, desto länger das Wasserabsteigen, sich also eine Druckabnahme fortsetzt. So habe ich beobachtet, daß ein etwa zwei Stunden lang dauerndes Wasserabsteigen dem zwei Stunden langen Evakuieren folgte, aber daß nicht mehr als drei Stunden langes Wasserabsteigen dem etwa 12 Stunden langen Evakuieren folgte. Wir sind demnach genötigt, etwa drei Stunden lang nach einem langen Evakuieren zu warten, um eine deutliche Wirkung der Erhitzung zutage treten zu lassen.

Nun fragen wir, welche Einwirkung das Evakuieren des Stengelstückes auf die Gewebe desselben ausübt. Nach der oben erwähnten Wechselweise des Wasserniveaus in dem Glaszylinder können wir zwei Arten der Wasserzunahme oder-abnahme, nämlich eine sofortige, und anderseits eine langsame unterscheiden. Da die Gefäßwand durch sowohl osmotischen, als auch physikalischen Außendruck nach dem Innenraum gedrückt ist, so muß dieselbe durch das infolge Evakuieren hervorgerufene Ausziehen des Saftes leicht nach Innen gezogen werden, damit ein sofortiges Aufsteigen des Wasserniveaus in dem Glaszylinder leicht erfolgt. Ein sofortiges Absteigen des Wasserniveaus nach Sistieren des Evakuierens rührt demgemäß von einer elastischen zurückgehenden Bewegung der Gefäßwand her. Langsames Auf- oder Absteigen des Wasserniveaus in dem Glaszylinder scheint aber auf einer komplizierten Erscheinung zu beruhen. Die Entstehung des Vakuums an von der oberen Schnittfläche entfernten Stellen, nämlich an den von der evakuierten Stelle entfernten Gefäßteilen und Markstrahlzellen könnte die hauptsächlichste Ursache dieser Erscheinung sein.

Ein langdauerndes Evakuieren genügt jedoch nicht die ganzen Gasmengen des Stengelstückes zu erschöpfen. Nach STRASBURGER[1] war ein 48 Stunden langes Auspumpen noch dafür nicht ausreichend.

---

1) E. STRASBURGER: Leitungsbahnen in den Pflanzen, 1891, S. 72.

Ich habe noch nach 12 Stunden langem Evakuieren eines *Cornus*-Stengels das Emporsteigen vieler Gasblasen beobachtet. Es stellte sich heraus, daß ein eine Stunde langes Evakuieren die Zahl und Größe der emporsteigenden Gasblasen viel kleiner macht.

Die anatomische Untersuchung des bei einem fünfjährigen Stengel unter Glyzerin hergestellten Schnittes zeigt uns klar, daß die Gasblasen hauptsächlich in den Interzellularen der Rinden- und Markstrahlzellen,[1] und wenig im Innenraum der alten Gefäße, aber niemals in demjenigen der jungen Gefäße, z. B. der 1–3 jährigen, vorhanden sind.

Wegen eines geringeren mechanischen Widerstandes werden die im Innenraum des Gefäßes enthaltenen Gasblasen leichter dem Evakuieren als die der Markstrahlen unterliegen. So sind die noch nach langem Evakuieren emporsteigenden Gasblasen auf diejenigen in den Interzellularen der Markstrahlzellen zu rechnen. Da die letzteren aber direkt mit der atmosphärischen Luft in Verbindung stehen, so scheint die thermische Änderung des Gasvolumens in den betreffenden Geweben keinen merklichen Einfluß auf den Blutungsdruck auszuüben. Um diese Annahme zu beweisen, habe ich, unter Beiseitelassung der dem Evakuieren folgenden Wasserabsorption, einen weiteren Erhitzungsversuch gemacht.

C_8—Versuch. (Hierzu gehört Fig. 25)

Vorangehendes Evakuieren: 12 Stunden.

Darauf folgendes ruhiges Stehen: 3 Stunden.

Protokoll des Druckwechsels.

Stunde	Druck	L-T	Bemerkung
14^{40}	2.3 cm	21.5 °C	14^{50}–15^{10} dauert die Erhitzung.
15^{10}	3.4 „	21.5 „	15^{10}–15^{25} durch einen elektr. Fächer abgekühlt.
15^{25}	2.5 „		Nach 15^{25} ruhig in der Luft.
15^{30}	2.4 „		

Der Vergleich der beim vorliegenden Versuch erhaltenen Figur (25) mit Fig. 23, lehrt uns, daß das Evakuieren des Gases eines jungen *Cornus*-Stengels keinen nennenswerten Einfluß auf den thermischen Blutungsdruckwechsel desselben ausübt. Das Fehlen oder die geringe Zahl der Gasblasen in den Gefäßen der jungen Stengel ist dabei ohne Zweifel als die hauptsächliche Ursache zu

1) Merkwürdigerweise sieht man in Holzfaserzellen fast keine Gasblasen.

betrachten, weil die in den Interzellularen der Markstrahlen enthaltenen Gasblasen außer Acht gelassen werden können (vergl. S. 120). Der Fall liegt aber etwas anders bei einem großen *Cornus*-Baum. Man kann dabei mit Recht irgend eine Beteiligung der Volumänderung des Gases annehmen. Als Entstehungsorte des thermischen Außendruckwechsels sind, wie später erwähnt

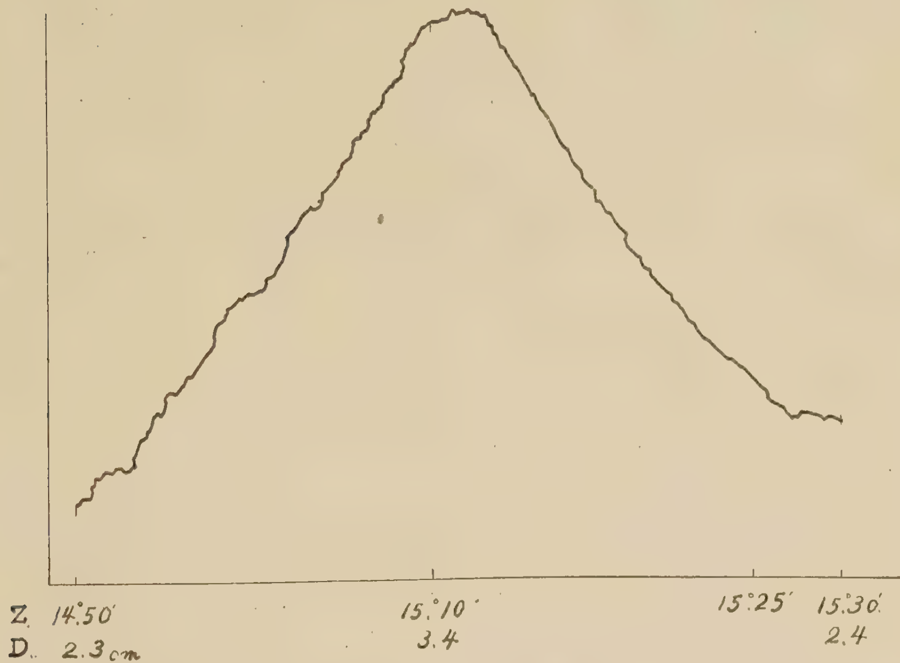


Fig. 25. Thermischer Druckwechsel eines abgeschnittenen Stengelstückes, das nach 12 Stunden langem Evakuieren etwa 3 Stunden lang ruhig stehen gelassen wurde. (Erklärung im Text).

wird, hauptsächlich Stellen an jungen Stengeln, etwa an den Außenteilen des alten Stengeln anzunehmen. Es scheint also, als ob die Beteiligung der Volumänderung des in alten Gefäßen enthaltenen Gases an dem thermischen Außendruckwechsel dadurch stark retadiert wird.

3. Versuche mit einem abgeschnittenen, abgetöteten Stengelstücke

Um zu bestimmen, ob es sich bei dem thermischen an einem Stengelstücke beobachteten Blutungsdruckwechsel um eine lebendige, oder aber um eine

physikalische abiologische Erscheinung handelt, habe ich die vorliegenden Versuche mit einem abgetöteten Stengelstücke ausgeführt. Für die Abtötung eines Stengelstückes habe ich mich zweierlei Weisen, einmal Sublimat-Behandlung, anderseits Abkoch-Behandlung bedient.

C_9—Versuch.

Sublimat-Behandlung: Einem fünfjährigen Stengelstück, das 48 cm lang war und etwa 3 cm im Durchmesser maß, wurde zunächst mehrere Male durch dessen Gefäßen,[1] eine 1/1000—Sublimatlösung geleitet. Darauf folgte die Erhitzung mit heißem Wasser.

Erhitzungsversuch am 20. März 1930.

Zeit	Druck	T. des heißen Wassers	Bemerkung
15^{02}	1.8[2] cm	45 °C	Um 15^{02} beginnt die Erhitzung.
15^{05}	2.1 „		
15^{11}	2.35 „		
15^{20}	2.8 „		
15^{26}	3.0 „		
15^{29}	3.05 „	38.0 „	Druck 1.25 cm höher.

C_{10}—Versuch.

Abkoch-Behandlung: Ein fünfjähriges Stengelstück, das 32 cm lang mit etwa 3.0 cm im Durchmesser war, wurde zunächst unter 100 °C mehr als eine Stunde hindurch abgekocht. Darauf folgte etwa drei Stunden langes Evakuieren, und weiter etwa zwei Stunden langes ruhiges Stehen. Zuletzt wurde das Stengelstück erhitzt oder abgekühlt.

Erhitzungsversuch: 28. März 1930.

Zeit	Druck	L-T	T. des heißen Wassers	T. der Rinde	Bemerkung
14^{30}	1.25 cm	18.8 °C	33 °C	23–26 °C	Um 14^{30} beginnt die Erhitzung mit heißem Wasser.
14^{40}	1.7 „		„ „	25 „	
14^{45}	1.8 „		„ „	„ „	

1) Diese Prüfung geschah mittelst einer in Fig. 22 gezeigten Einrichtung, indem ich die in dem unteren Glaszylinder eingefüllte Sublimatlösung von dem oberen Glaszylinder einsaugen ließ.

2) Dieser Wert bedeutet nicht den absoluten, sondern nur den anfänglichen Druck.

Zeit	Druck	L–T	T. des heißen Wassers	T. der Rinde	Bemerkung
14^{50}	1.9 cm	18.8 °C	33 °C	25 °C	Druck schon 0.65 cm höher.
14^{55}	1.9 „	17.6 „	„ „	„ „	
16^{05}	1.4 „	17.8 „	„ „	24 „	Erhitzung mit einem elektr. Körper beginnt.
16^{20}	2.61 „	17.5 „	„ „	43.8 „	Erhitzung sistiert, Druck 1.36 cm höher.
16^{35}	2.22 „	17.8 „	„ „	23 „	

Abkühlungsversuch: 26. März 1930.

Zeit	Druck	L–T	T. des Kühlwassers	Bemerkung
15^{07}	1.13 cm	19.5 °C	9.5 °C	Abkühlung mit Eiswasser beginnt.
15^{12}	1.00 „	19.2 „	9.8 „	
15^{37}	0.55 „	18.5 „	10.3 „	Druck schon 0.58 cm nieder.
15^{59}	0.50 „	18.2 „	9.8 „	Abkühlung mit Eisgemisch beginnt.
16^{04}	0.0 „	18.0 „	5.5 „	
16^{09}	−0.1 „	17.8 „	3.8 „	
17^{39}	−1.22 „	15.5 „	−6.0 „	Druck sank um 2.35 cm.
17^{44}	−1.17 „	15.5 „	−5.5 „	„ „ „ 2.30 „
17^{49}	−1.07 „	16.0 „	−5.0 „	„ „ „ 2.20 „

Nach den Resultaten der oben erwähnten Versuche ähnelt der thermische Druckwechsel ziemlich stark demjenigen einer Topfpflanze. Es fragt sich, ob die dem Gefäß anliegenden Zellen gänzlich durch die in demselben Gefäß eingesaugte Sublimatlösung abgetötet ist. Man kann aber nicht die abtötende Wirkung des Abkochen bezweifeln. Somit ist es ohne weiters klar, daß der ganze sowohl an der Topfpflanze, als auch an dem Stengelstück erhaltene thermische Blutungsdruckwechsel auf einem physikalischen abiologischen Vorgang beruht. Es ist schon verneint geworden, daß die Volumveränderung der im Gefäßlumen fraglich und in Interzellularen der Markstrahlen bestimmt enthaltenen Gasblasen dabei mitbeteiligt sei. Es muss denn verfolgt werden, was für eine Ursache dabei vorliegt. In dieser Hinsicht kann an zwei Möglichkeiten gedacht werden, nämlich einmal an die Ausdehnung des Blutungssaftes, oder aber an die des Holzstoffes.

4. Ausdehnungskoeffizient des Blutungssaftes

Um den Ausdehnungskoeffizient des Saftes zu bestimmen, habe ich die Pyknometermethode gewählt. Natürlich kam dabei immer der frische Saft in Anwendung. Es möge im folgenden nur ein Beispiel, das zu Ende März gewonnen wurde, erwähnt werden.

Gewicht des Pyknometers bei 15 °C						: 31,749 g
„	„	„	mit H_2O	bei	15 °C	: 81,665 „
„	„	„	„	„	„ 25 °C	: 81,547 „
„	„	„	„ Saft	„	15 °C	: 81,750 „
„	„	„	„	„	„ 25 °C	: 81,655 „

Aus diesen Versuchsdaten erhalten wir als das spezifische Gewicht des gebrauchten Saftes bei 15 °C 1,0017.[1]

Der Ausdehnungskoeffizient des Saftes bei 15–25 °C ist nun: 0.000218

Derjenige des Wassers bei 15–25 °C ist: 0.000260

Hierbei ist der kubische Ausdehnungskoeffizient des Pyknometers als 0.0000246 berechnet.

Da die Temperaturerhöhung des mit dem Saft gefüllten Pyknometers etwas niedriger als 10 °C war, so mochte der Ausdehnungskoeffizient des Saftes mit demjenigen des Wassers fast gleich sein. Dieser Schluß scheint ziemlich stichhaltig zu sein, wenn es auch, wegen der Änderung der Saftkonzentration, etwaigen Vorbehaltes bedarf.

5. Ausdehnungsraten des Holzstoffes

Hierzu habe ich nach dem MERVIN und LYONschen Verfahren die infolge der Temperaturerhöhung von 26°, also 6–32° auftretende Ausdehnungsrate des Holzstoffes mit derjenigen des Wassers verglichen. Als Material des Holzstoffes waren Hobelspäne aus dem Grunde der schweren Ausziehbarkeit des darin enthaltenen Gases ungeeignet, sodaß zuletzt Holzpulver von unter 0,5 mm zur Anwendung kamen.

Die Ausdehnungsrate des Holzstoffes:

$$(e+c)-\frac{(b-a)(d+c)}{b}.$$

1) Dieser Wert ist nicht für alle Fälle giltig, weil die Konzentration des Saftes, wie schon im Abschnitt IV erwähnt wurde, je nach der Zeit der Entnahme veränderlich ist.

Diejenige des Wassers, das gleiches Volumen wie der Holzstoff besitzt:

$$\frac{f}{1.56}\cdot\frac{3}{2}\cdot 0.0046\,.$$

Somit das Verhältnis der Beiden $= (e+c)-\frac{(b-a)(d+c)}{b}\Big/\frac{f}{1.56}\cdot\frac{3}{2}\cdot 0.0046$

Dabei ist:

a .... Volumen des mit Wasser gesättigten Holzstoffes, das nach der Formel $\frac{f}{1.56}\cdot\frac{3}{2}$ berechnet wird.

f .... Gewicht des bei 105 °C gut getrockneten Holzstoffes.

1.56...... Spef. Gewicht des Holzstoffes.[1]

$\frac{f}{1.56}$ ... Volumen des getrockneten Holzstoffes, dessen 3/2 Teil desjenigen des mit Wasser gesättigten betrachtet wird.

0.0046... Die infolge Temperaturerhöhung um 26 °C, nämlich von 6–32 °C auftretende Ausdehnungsrate von 1 ccm des Wassers.

b .... Volumen des Pyknometers, d. i., 50 ccm.

c .... Die infolge T–Erhöhung um 26 °C (6°–32°) gefundene Ausdehnungsrate des Inhaltes des Pyknometers. Sie wird auf ca 0.033 angenommen.

d .... Die infolge Abkühlung um 26 C° (32°–6°) auftretende Gewichtszunahme des mit Wasser gefüllten Pyknometers.

e .... Die infolge Abkühlung um 26 °C (32°–6°) auftretende Gewichtszunahme des mit Wasser und mit des Gases vollkommen beraubtem Holzstoff gefüllten Pyknometers.

Ein Beispiel bei einem *Cornus*-Baume:

$$a=2.91,\quad b=50,\quad c=0.033,\quad d=0.216,\quad e=0.229,\quad f=3.0292.$$

Das Verhältnis der beiden Ausdehnungsraten ist nun 2.08. Dieser Wert ist fast gleich mit dem bei *Betula* von MERVIN und LYON[2] gewonnenen, nämlich 2.2.

6. Thermische Ausdehnungsrate des im in Rede stehenden Stengelstücke enthaltenen Holstoffes und Wassers

Wenn die Mitbeteiligung des Gases für den thermischen Blutungsdruckwechsel außer Acht gelassen werden kann, so kommt diejenige des im Stengel-

1) Zitiert nach der Berechnung von SACHS und HARTIG. vergl. R. HARTIG: Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume, 1885.

2) a. a. O.

stücke enthaltenen Holzstoffes und Wassers in Frage. Dashalb ist es für mich unbedingt notwendig, die thermischen Ausdehnungsraten der beiden Faktoren zu berechnen und mit der Rate des dadurch verursachten Blutungsdruckwechsels zu vergleichen.

Das bei mir zum Versuch herangezogene Stengelstück war siebenjährig und 26.5 cm lang. Seine Durchmesser am oberen, mittleren und unteren Teil betrugen 9.5 bzw. 9.8 und 10.2 cm. Das Frischgewicht desselben Holzstückes betrug 207.7 g und sein Volumen 183 ccm.[1]

Der Wassergehalt eines frischen *Cornus*-Stengels betrug etwa 64.2%. Somit kann man den im zum Versuch herausgezogenen Stengelstücke enthaltenen Gehalt des Wassers oder der Holzsubstanz folgendermaßen annehmen:

Frischgewicht des Stengelstückes	: 207.7 g
Wassergehalt desselben	: 133.1 g
Gewicht der Holzsubstanz	: 74.6 g

Hieraus gewinnt man als das Volumen der Holzsubstanz 47.8 ccm, da das spezifisches Gewicht der Holzsubstanz als 1.56 betrachtet werden darf.

Wenn die trockene Holzsubstanz mit Wasser gesättigt etwa 3/2 des ursprünglichen Volumens einnimmt, so wird das Volumen der Holzsubstanz nun als 71.7 ccm betrachtet.

Durch Addieren des berechneten Volumens der trockenen Holzsubstanz und des Wassers bekommt man 180.9 ccm. Die Abweichung dieses Wertes von dem beobachteten, also 183 ccm, ist nicht so sehr groß, daß sowohl die Versuchs-, als auch die auf Grund des fraglichen spezifischen Gewichts zustande gebrachten Rechnungsfehler nicht vernachlässigt werden können.

Nun wenden wir uns zur Besprechung der thermischen Expansionsrate des betreffenden Stengelstückes.

Wenn die Holzsubstanz von 71.7 ccm durch die Temperaturerhöhung von 20°–30° C ausgedehnt wird, so kann man die Ausdehnungsrate desselben folgendermaßen berechnen:

$$71.7 \cdot 10 \cdot 2.1 \cdot 0.000302 = 0.45 \text{ ccm.}$$

Der Ausdehnungskoeffizient des Wassers bei 20–30 °C ist als 0.000302 anzunehmen.

---

1) Nach HARTIG wurde dieser Wert durch die Volumenzunahme des in einem Meßzylinder enthaltenen Wassers, unter welches das betreffende Stengelstücke gesenkt war, gewonnen.

Nun ist die Ausdehnungsrate des in demselben Stengelstück enthaltenen Wassers:

$$\{133.1-(71.7-47.8)\}10 \cdot 0.000302 = 0.33 \text{ ccm.}$$

Durch Summieren der beiden Ausdehnungsraten erhalten wir 0.78 ccm. Dieser Wert entspricht einer Ausdehnungsrate von $\frac{1}{2.30}$ des ursprünglichen Volumens, also 183 ccm. Vergleichen wir nun die bei dem C_6—, oder C_8—Versuch erhaltenen Ausdehnungsraten mit der oben gewonnenen, so fällt uns auf, daß die Ähnlichkeit der beiden sehr groß ist. So war z. B. bei dem C_6—Versuch die Druckzunahme 0.7 cm und bei dem C_8—Versuch dieselbe 1.1 cm. Daraus bekommen wir je als die entsprechende Ausdehnungsrate 0.55 ccm, oder 0.7 ccm, weil der dabei gebrauchte Manometer einen Durchmesser von 1.0 cm besaß. Wegen einer komplizierten Erscheinung ist die geringe Abweichung beider Werte erläßlich, sodaß wir mit Recht schließen dürfen, daß der thermische Blutungsdruckwechsel des *Cornus*-Stengels sich von einer physikalischen Expansion oder Kontraktion sowohl des Holzstoffes, als auch des Wassers, also von einem abiologischen Vorgang herrührt.

7. Physiologisch-anatomische Untersuchungen über den thermischen Blutungsdruckwechsel

Im folgenden wird der physiologisch-anatomische Mechanismus, auf Grund dessen die Expansion und Kontraktion des in einem *Cornus*-Stengel enthaltenen Holzstoffes und Wassers den entsprechenden Blutungsdruckwechsel hervorrufen, diskutiert werden.

Es ist eine wohl bekannte Tatsache, daß sowohl die Epidermis als auch die Rindengewebe durch die in den inneren Geweben vor sich gehende Kraft[1] nach der Querrichtung stark gespannt ist. Gegen diese Kraft leistet jedoch eine Schutzkraft der beiden ersteren Gewebe Widerstand, sodaß die erstere Kraft gut kompensiert wird. Da die Rinde, besonders die sekundäre, der Bäume sehr fest ist, so dürfte ihre widerstehende Kraft merklicher als die der Kräuter sein. Trotz der großen Schutzkraft unterliegt die Rinde, mehr oder weniger, wie es in der Dickenveränderung der Bäume klargestellt wird, der

---

1) Unter diesem Wert verstehe ich nicht nur die Turgorkraft, sondern auch die thermische Spannungskraft der Zellwände.

von Innen ausgeübten Kraft. Es ist schon von KRAUS[1] nachgewiesen, daß einige tropische Laubbäume etwaige, wenn auch geringe Dickenschwankungen aufweisen. Neuerdings hat MAC DOUGAL[2] mit einem von ihm konstruierten Dendrograph die betreffende Erscheinung an verschiedenen Bäumen selbstregistrierend untersucht. Nach demselben Autor erfährt der Stengel von *Pinus, Picea, Pseudotsuga, Fraxinus* oder von *Juglans* eine deutliche tagesperiodische Dickenveränderung, während derjenige von *Populus, Platanus, Fagus, Quercus,* oder von *Citrus* solche Erscheinung kaum merklich aufweist.

Was nun die kausale Erklärung der oben genannten Erscheinung anbetrifft, so harrt hier noch manches der Klarstellung. MAC DOUGAL[3] führt die betreffende Erscheinung auf die Expansion und Kontraktion der Gefäße oder Tracheiden zurück, weil die entsprechende Kurve etwa derjenigen der Luftfeuchtigkeit parallel geht. Diesem Schluß widerspricht aber zunächst die Tatsache, daß das Maximum manchmal, wie schon von demselben Autor hervorgehoben, spät am Vormittag erscheint. Weiterhin war es demselben Autor unmöglich, über die Ursache der unmerklichen Dickenveränderung bei *Populus* u.s.w. eine richtige Erklärung zu geben.[4]

Um eine richtige Kenntnis über die MAC DOUGALsche Erscheinung zu gewinnen, und dieselbe mit dem Blutungsdruckwechsel zu vergleichen, daher habe ich von selbst einige dendrographische Messungen an *Cornus* und an einigen anderen Bäumen mit einem MAC DOUGALschen Apparat[5] ausgeführt. Fig. 26, a zeigt eine bei *Pinus Thunbergii* gewonnene Kurve, die an einem Stengelteil, dessen Durchmesser etwa 31.3 cm betrug, registriert wurde. Man vergleiche dieselbe Kurve mit der auf Fig. 12 gezeigten, so wird man auf die innige Verwandtschaft der beiden aufmerksam werden. Fig. 12 entspricht dem Stadium, wo die Beeinflussung durch die Wärme-Expansion neben der Mitwirkung der Transpiration vor sich geht.

Man kann also mit Recht auch bei einer dendrographischen Kurve die

---

1) G. KRAUS, Die Schwellungsperiode an tropischen Bäumen. Ann. Jard. Bot. Buiten. 1895, S. 210.

2) Growth in trees. Proc. of the Amer. Philos. Soc. 1921.

3) Tree trunks, growth and reversible variations in circumference. Science. Vol. LXI, No. 1579, 1925.

4) a. a. O. 1921, P. 10.

5) Für die Besorgung dieses Apparates möchte ich an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. MAC DOUGAL meinen besten Dank aussprechen.

Mitwirkung der Sonnenwärme annehmen. Es ist nun selbstverständlich, daß das tagesperiodische Maximum einer dendrographischen Kurve, wie üblich bei einer Blutungsdruckkurve, manchmal spät am Vormittag auftritt. Ich habe bei den dendrographischen Kurven von *Pinus Thunbergii* das Maximum um 8–9 Uhr und das Minimum um 12–13 Uhr beobachtet.

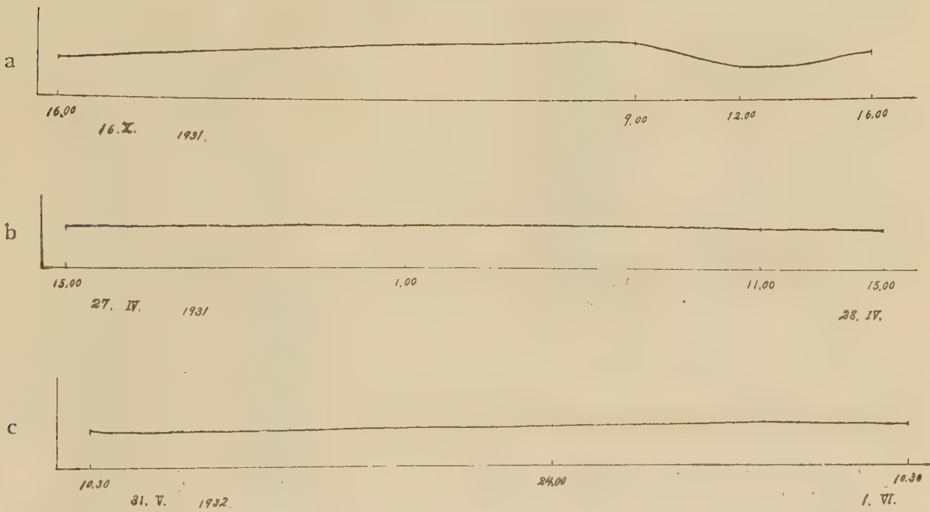


Fig. 26. Dendrographische Registrierung einer täglichen Schwellungsperiode des Stammes von *Pinus Thunbergii* (a), *Cornus controversa* (b) und *Firmiana platanifolia* (c).

Gegen meine Erwartung zeigte aber der *Cornus*-Baum keine oder unmerkliche periodische Dickenveränderung. Trotzdem meine Beobachtung während der Monate Januar, März, April, Mai oder November fortgesetzt wurde, war das Resultat immer negativ. So kam ich unbedingt zum Schlusse, daß der *Cornus*-Baum die in seinen inneren Geweben entstehende Kraft durch den Blutungsdruckwechsel kompensiert, nicht aber durch die Dickenveränderung. Die mit merklicher Dickenveränderung begabten Bäume, wie z. B. Coniferen-Arten können aber natürlich, wegen der Natur ihrer anatomischen Struktur, schwer einen Blutungsdruckwechsel[1] durchführen, sodaß die von der Expansion der Tracheidenwände stammende Kraft durch die Dickenveränderung kompensiert werden muß. Es ist aber nicht klar, ob *Fraxinus* und *Juglans*, welche beide

1) Nach IWANOFF ist der Blutungsdruck bei Kiefern nur durch die Wassergehaltsbestimmung eines abgesägten Stockes nachweisbar. vergl. IWANOFF: Zur Kenntnis des Wurzeldruckes bei den Holzgewächsen. Ber. d. bot. Ges. 1925, 373.

eine merkliche Dickenveränderung aufweisen, mit schwerer Wasserleitung oder mit leicht dem Druck unterliegender Rinde begabt sind.

Es scheint uns, als ob die Laubhölzer gewöhnlich unmerkliche Dickenveränderung aufweisen. Nach meiner eigener Messung war die Dickenveränderung

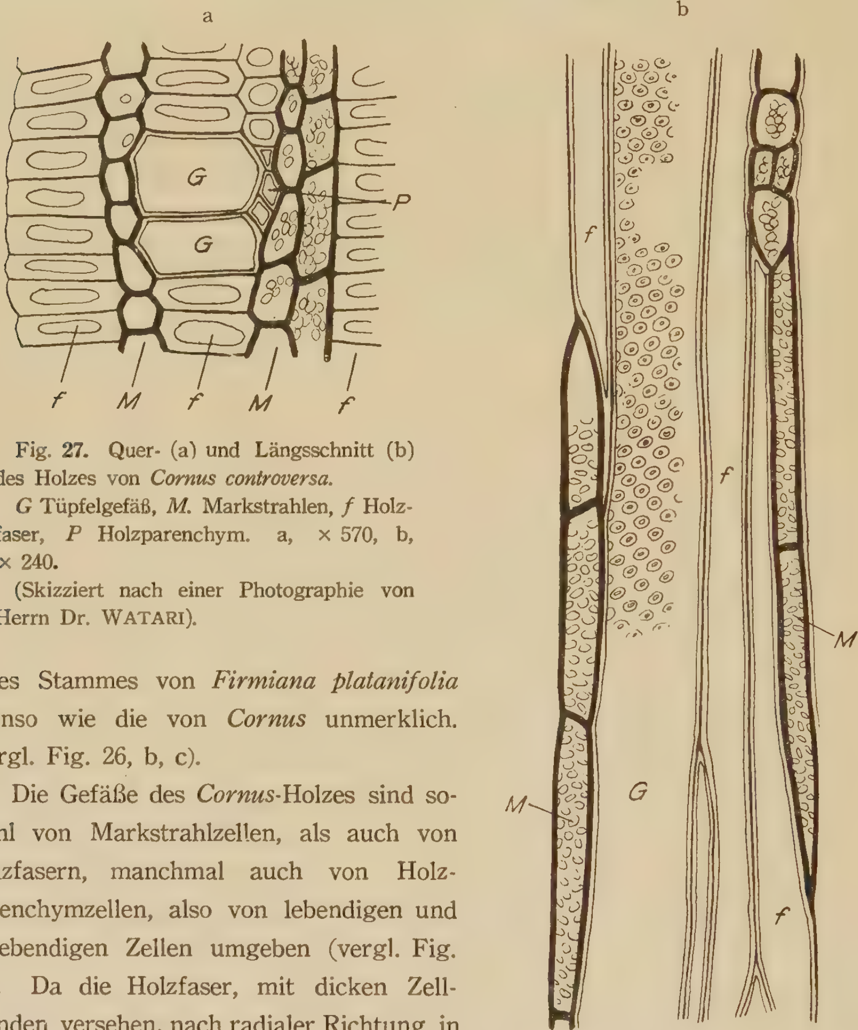


Fig. 27. Quer- (a) und Längsschnitt (b) des Holzes von *Cornus controversa*.
G Tüpfelgefäß, *M.* Markstrahlen, *f* Holzfaser, *P* Holzparenchym. a, × 570, b, × 240.
(Skizziert nach einer Photographie von Herrn Dr. WATARI).

eines Stammes von *Firmiana platanifolia* ebenso wie die von *Cornus* unmerklich. (vergl. Fig. 26, b, c).

Die Gefäße des *Cornus*-Holzes sind sowohl von Markstrahlzellen, als auch von Holzfasern, manchmal auch von Holzparenchymzellen, also von lebendigen und unlebendigen Zellen umgeben (vergl. Fig. 27). Da die Holzfaser, mit dicken Zellwänden versehen, nach radialer Richtung in einer großen Anzahl angeordnet sind, so dürfte die summierte Expansionsrate des in diesem Gewebe enthaltenen Zellwandstoffes sehr groß sein. Wenn die Expansionskraft desselben nach außen etwa durch die Rinde verhindert wird, so dürfte dieselbe Kraft für das Verkleinern der Gefäßlumen verbraucht werden. Die Expansion der Zellwände der Holzparenchym- und Markstrahlzellen scheint

dabei eine sekundäre Rolle zu spielen. Die Wärmeleitung, die im *Cornus*-Holz sehr schnell vor sich geht, wird sehr wahrscheinlich durch die Interzellularen der Markstrahlen, oder direkt durch den Holzstoff ausgeführt.

Es ist ohne weiteres klar, daß die Wärmeexpansion des im Gefäßlumen enthaltenen Wassers auch die genannte Blutungsdruckzunahme unterstützt. Ebenso spielt dabei die Expansion des in anderen Zellräumen enthaltenen Saftes, auch eine untergeordnete Rolle.

d. Einflüsse der Sonnenenergie auf den Blutungsdruck

Durch die im III. Abschnitte erwähnten Beobachtungen und die im Abschnitte V, c erörterten Versuche ist der Einfluß der Sonnenenergie auf den Blutungsdruckwechsel kaum zu bezweifeln. Im folgenden wird es weiter verfolgt werden, auf welche Weise die beiden in Verbindung stehen.

Die Sonnenenergie[1] ist, wie durch mehrere Forschungen klar gestellt ist, auch an ganz klaren Tagen meist am Vormittag größer, das Maximum wird schon vor Mittag erreicht. Manchmal ergeben sich zwei Maxima, ein Hauptmaximum am Vormittag, ein zweites am Nachmittag.

Sehr oft ist das Maximum so undeutlich ausgeprägt, daß das maximale Gebiet einer aktinographischen Kurve weit ausgebreitet ist. Diese Tatsache genügt, um den Beweis für die Erscheinung zu liefern, daß die im Freien erhaltenen Druckkurven öfters auch ein weites maximales Gebiet zeigen.

Das Maximum einer tagesperiodischen Druckkurve tritt, wie schon öfters gesagt, am Vormittag auf, aber nicht immer mit demjenigen eines an demselben Tag gefundenen Aktinographen übereinstimmend. Diese Tatsache ist von vornherein zu erwarten, weil die auf einen in der Natur stehenden Baum fallende Sonnenenergie nicht immer mit derjenigen eines Aktinographen gleich ist. Der *Cornus*-Baum I, der am meisten zu meinen Versuchen herangezogen war, stand am Rand eines Waldes und wurde im März etwa folgendermaßen von der Sonne betroffen.

Um 7^{00}– 8^{00} Uhr, keine Beschattung.
„ 8^{00}– 9^{00} „ , durch einen *Quercus*-Baum beschattet.
„ 9^{00}–10^{10} „ , keine Beschattung.
„ 10^{10}–15^{00} „ , durch *Quercus*- und Kamphorbaum beschattet.
„ 13^{00} „ , durch einen großen Sonnenfleck bestrahlt.

1) Hann-Süring. Lehrbuch der Meteorologie, 1926, S. 37.

Um 15^{00}—Abend, unter dem Schatten eines anderen großen *Quercus*-Baumes.

„ 15^{00} , nur die westlichen Zweige und Äste wieder bestrahlt.

Nach diesem Bestrahlungszustand erkennt man, daß der Baum I um 9^{00}–10^{10} am stärksten von der Sonne erwärmt werden kann. Nun ist es von selbst klar, daß das tagesperiodische Maximum des Blutungsdruckes meistens, besonders an heiteren Tagen, um 9–10 Uhr vorliegt. (vergl. die Tabelle, auf der Seite 91). Man muß also auf den Wechsel der Sonnenenergie, zusammen mit demjenigen der Bestrahlung eines Baumes achtgeben, um die tagesperiodische Veränderung des Blutungsdruckes erklären zu wollen.

Im folgenden werde ich den tagesperiodischen Wechsel des Blutungsdruckes mit demjenigen der Sonnenenergie vergleichen, um zu prüfen, auf welche Weise beide in Verbindung stehen. Die dabei gebrauchten Aktinographen wurden von Herrn Prof. Dr. M. OYAMA und Dr. M. WAKAI mit Hilfe eines von ihnen konstruierten Pyrheliometers[1] erhalten. Für das Wohlwollen, durch welches eine Anzahl von aktinographischen Kurven zu meiner Verfügung gelangten, möchte ich an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. OYAMA meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Unter zahlreichen Beispielen seien hier, der Kürze halber, nur vier aus Baum I besprochen.

Beisp. 1. Von einem heiteren mäßig windigen Tage (20. März 1928) (Vergl. Fig. 28).

Vormittags vor 11 Uhr etwas wolkig, nach dieser Zeit klar. (Vergl. untere Kurve). Ein tiefes Tal um 10^{15} an der Druckkurve entspricht etwa demjenigen an der aktinographischen Kurve. Wegen des bewölkten Vormittags ist das Druckmaximum etwas verspätet erschienen, nämlich um 10^{40}.

Deshalb ist das Auftreten des Maximums als eine Nachwirkung der Sonnenbestrahlung um 10 Uhr anzunehmen, weil der Baum schon nach 10^{10} Uhr durch Waldbäume in merklicher Weise beschattet war. Die pulsatorische Druckschwankung nachmittags beruht aber auf einer über und durch den Wald eingestrahlten Sonnenwärme und auf einer daneben vor sich gehenden Ausstrahlung. Die kurz nach 13^{15}, oder 15^{30} Uhr, erschienene kleine Erhöhung entspricht je einer besonders stärker gewordenen Bestrahlung.

1) M. OYAMA & M. WAKAI, A thermoelektric Pyrheliometer. Journ. of the Inst. of electrical eng. of Japan, 1928, No. 480. (Japanisch).

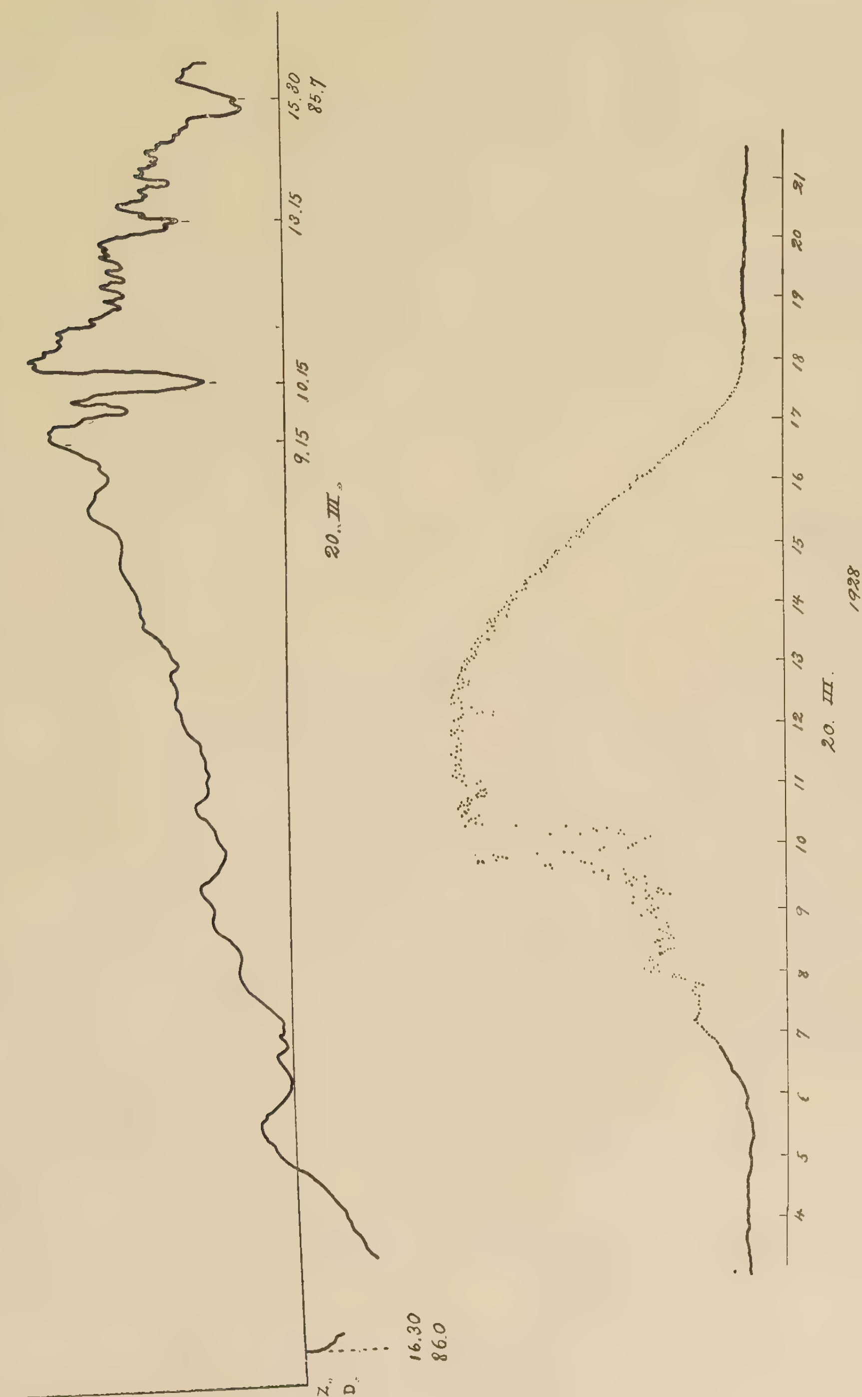


Fig. 28. Verlauf des Blutungsdruckes und der Sonnenenergie an ein und demselben schönen Tage.

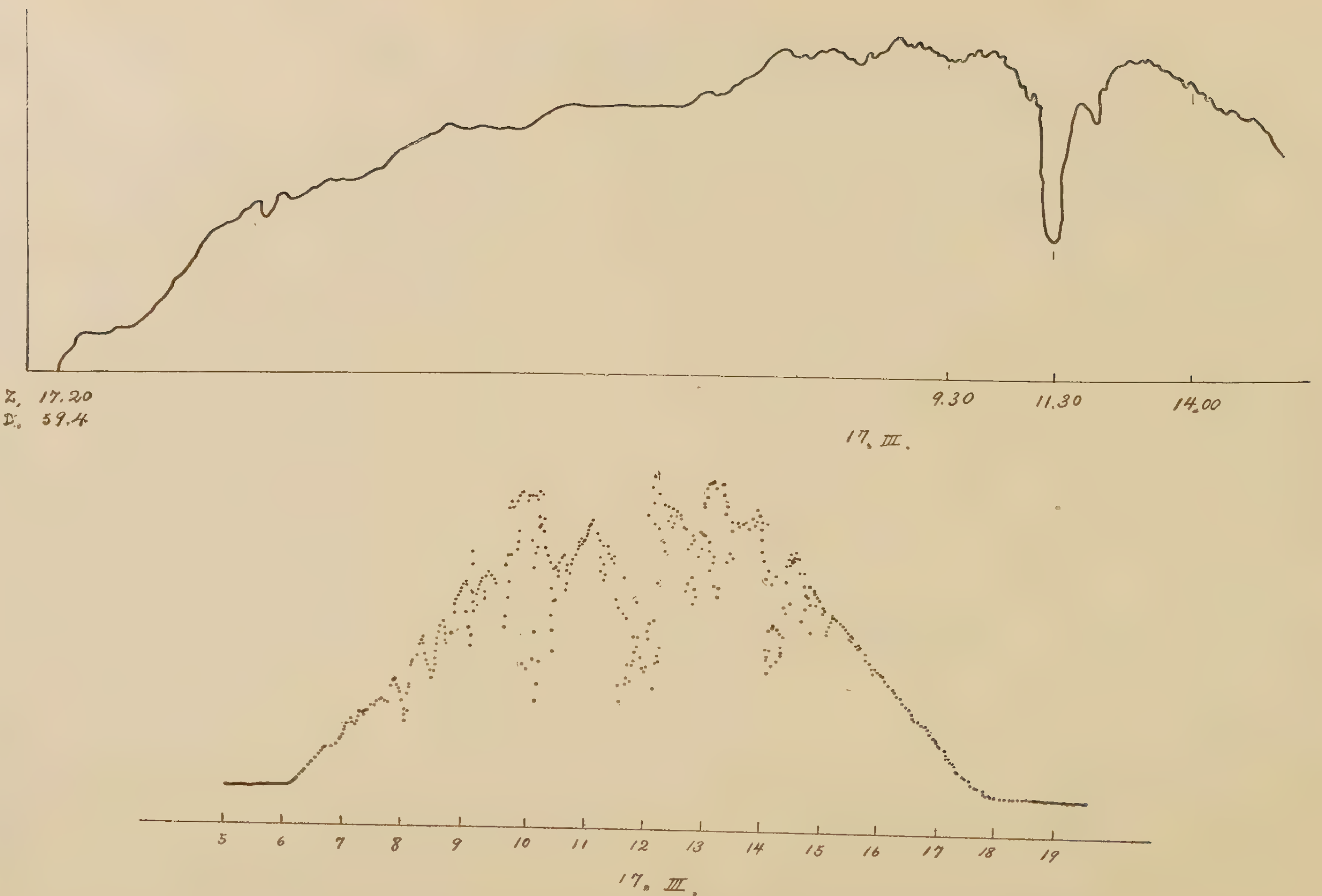


Fig. 29. Verlauf des Blutungsdruckes und der Sonnenenergie an ein und demselben wolkigen Tage.

Beisp. 2. Von einem stark wolkigen mäßig windigen Tage (17. März 1928) (Vergl. Fig. 29).

Die Druckkurve ist überall mit kleinen Schwankungen, dagegen die Kurve der Sonnenenergie mit großen vorübergehenden Schwankungen versehen. Diese Tatsache läßt sich so deuten, daß die vorübergehende Einstrahlung und die entsprechende schwache Ausstrahlung den Druckwechsel geringer machen. Anders aber geht es mit den langdauernden Wolken, welchen ein tiefes Tal der Druckkurve um 11^{30} Uhr entspricht.

Das um 8^{30} aufgetretene Druckmaximum beruht auf einer um 8^{00} den Baum getroffenen stärksten Einstrahlung.

Beisp. 3. Von einem trüben und regnerschen stark windigen Tage (26. März 1928) (Vergl. Fig. 30).

Am frühen Morgen war es ganz trüb, sodaß die kurz nach 8^{40} Uhr erfolgte Druckabnahme auf einen Abstieg der Lufttemperatur zurückzuführen ist. Die Lufttemperatur veränderte sich dazwischen folgendermaßen:

Zeit (Uhr)	6^{00}	8^{00}	8^{30}	10^{00}	11^{00}	12^{00}	14^{00}	14^{30}	16^{00}	17^{00}	18^{00}
L-T (°C)	12.0	13.0	13.7	12.5	12.0	9.0	6.5	6.0	9.0	7.0	6.0

Die Druckzunahme setzte aber um 9^{10} Uhr ein und schritt, trotzdem es um 9^{40} zu regnen begann, bis etwa um 11^{00} fort. Die um 9 Uhr etwa gewachsene Sonnenenergie könnte sehr wahrscheinlich die Ursache der Druckzunahme sein. Die um 11^{00} Uhr beginnende plötzliche Druckabnahme wird aber ohne Zweifel auf eine durch Regen hervorgerufene Abkühlung zu rechnen sein. Die um 12 Uhr beginnende Druckzunahme wird auch auf die zu derselben Zeit etwas stärker gewordene Sonnenenergie zurückgeführt. Die Druckzunahme ging um 14^{20}, wegen der Aufheiterung und der damit stärker gewordenen Bestrahlung, plötzlich in die Höhe, bis sie um 16^{40} ihr Maximum erreichte.

Auf der Druckkurve zeigt sich fast keine pulsatorische Schwankung, was ohne Frage mit geringer Einstrahlung in Verbindung steht.

Beisp. 4. Aus dem am 28. März 1928 erhaltenen Resultate. Damals war das Jahresmaximum des Druckes schon vorbei, also ging eine erhebliche Transpiration des Baumes vor sich. Und zwar ist das Fehlen der pulsatorischen Schwankung auf der Druckkurve teils auf diese Ursache zurückzuführen.

Das um 10 Uhr auftretende Druckmaximum rührt von einer zu derselben Zeit den Baum treffenden stärksten Wärmeeinstrahlung her, weil er um damalige Zeit fast unbedeckt war. (Vergl. Fig. 31).

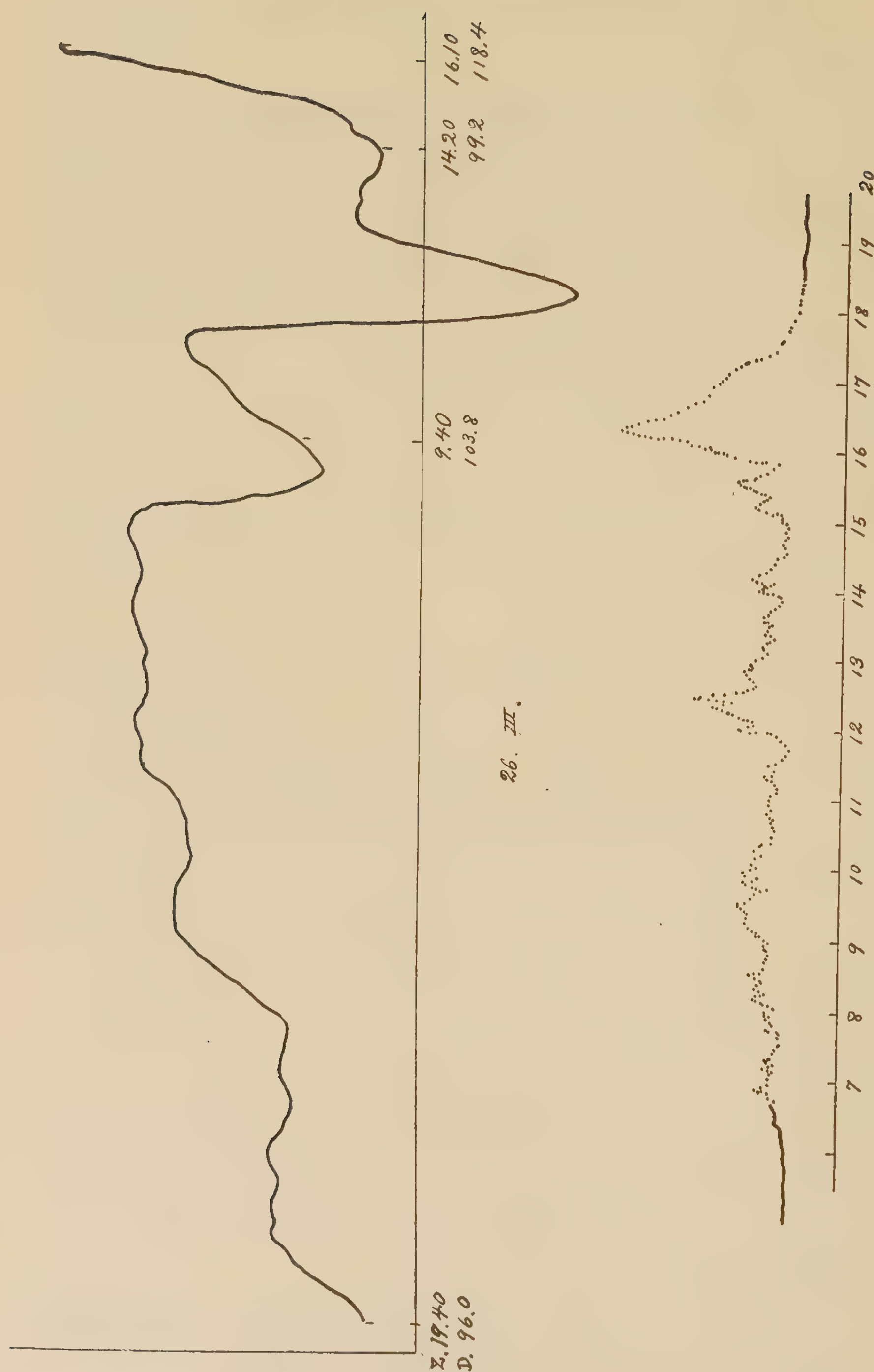


Fig. 30. Verlauf des Blutungsdruckes und der Sonnenenergie an ein und demselben trüben, etwas regnerischen Tage.

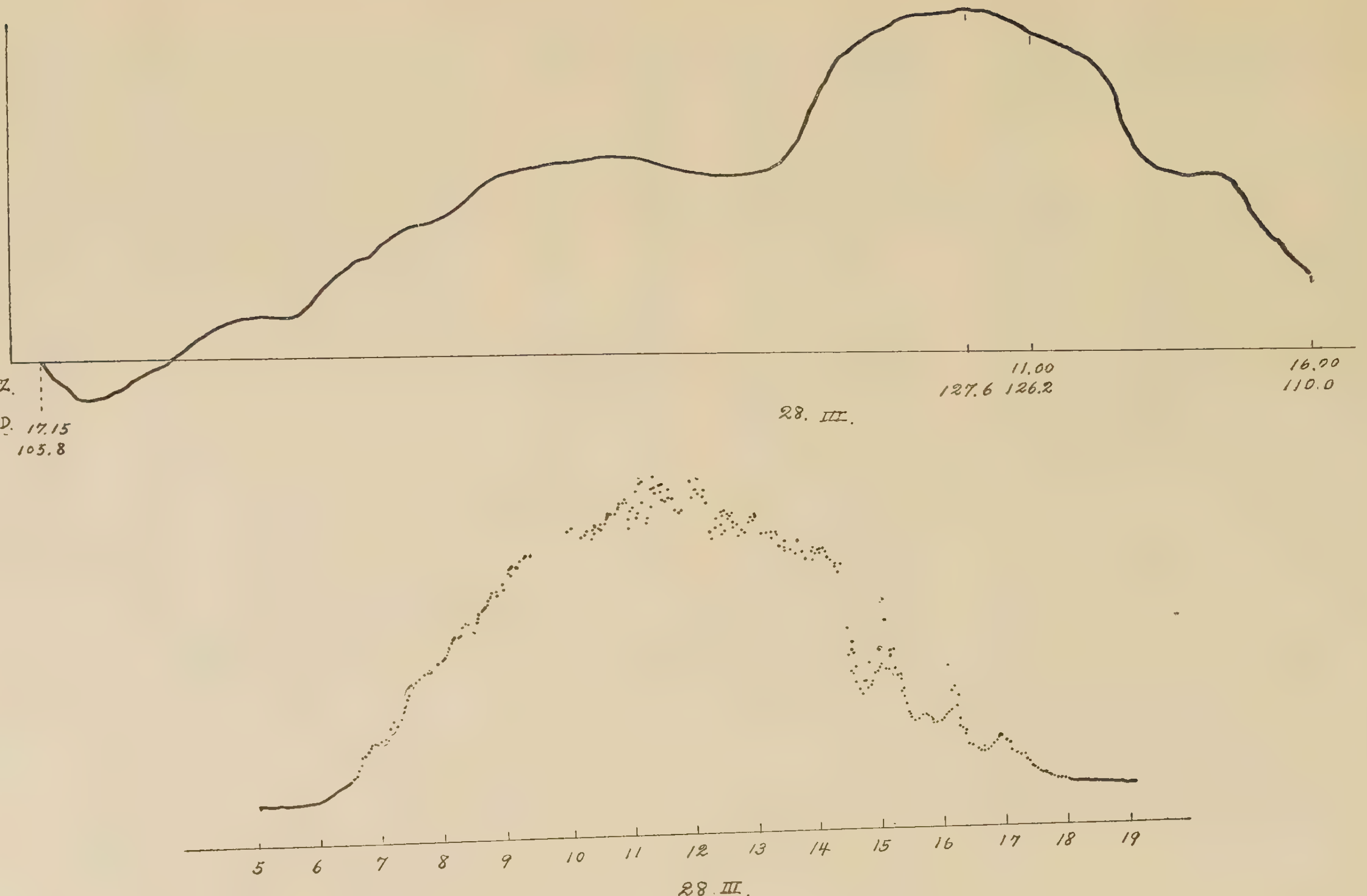


Fig. 31. Verlauf des Blutungsdruckes und der Sonnenenergie an ein und demselben schönen Tage, nach dem Auftreten des Jahresmaximums.

Fassen wir die vier oben erwähnten Beispiele zusammen, so kommen wir ohne Mühe zu den folgenden Resultaten:

1. Das große Tal[1] einer Druckkurve entspricht dem ähnlichen Tal eines Aktinographen, also großen Wolken, die andauernd die Sonne bedeckten.
2. Ein großes Tal einer Druckkurve wird manchmal durch die Abkühlungstätigkeit des Regens hervrogerufen. (Vergl. die Versuche des nächsten Kapitels).
3. Pulsatorische Schwankungen einer Druckkurve werden nicht nur durch entsprechende Schwankungen der Sonnenenergie, sondern auch durch die von anderen Bäumen oder Gebäuden aufgeworfene Beschattung verursacht (Beisp. 1).
4. Durch die zuletzt erwähnte Beschattung wird die Auftrittszeit des tagesperiodischen Druckmaximums stark verschiebbar, sodaß die letztere nicht allein durch das aktinographische Maximum, sondern mehr noch durch die maximale Einstrahlung des Baumes bestimmbar ist.
5. Unter dem Einfluß trüben Wetters gehen pulsatorische Druckschwankungen verloren, was wohl mit unmerklicher Wärmeeinstrahlung Hand in Hand gehen muß.
6. Das Verlorengehen[2] der pulsatorischen Druckschwankungen scheint auch durch eine gesteigerte Transpiration verursacht zu werden. (Beisp. 4)
7. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit auf den Druckwechsel ist fast unmerklich. (Vergl. das nächste Kap.)

Um die Beziehung zwischen Sonnenenergie und Druckwechsel genauer zu verfolgen, habe ich weitere Beobachtungen bei Baum III vorgenommen. Dieser Baum wurde im Osten und Südosten durch andere Bäume und Gebäude beschattet, im Südwesten hingegen gut bestrahlt. Aus diesem Grund dürfte das Auftreten des Druckmaximums am Nachmittag der Erwartung entsprechen.

Um die Beobachtung und die Ausführung der Experimente zu erleichtern, habe ich im März 1931 den Hauptstamm 6 m hoch über dem Boden abgeschnitten. Im März 1932 war der Baum für Versuche ganz fertig, weil infolge vollkommener Wundenheilung keine Blutung mehr stattfand. Damals maß derselbe an Umfang am Grunde etwa 78 cm und wurde auf etwa 20 Jahre Alter geschätzt.

1) Diese Vermutung wird weiter durch die im C-Kapitel erwähnten Versuche verstärkt.

2) Von pathologischen Erscheinungen wird später die Rede sein.

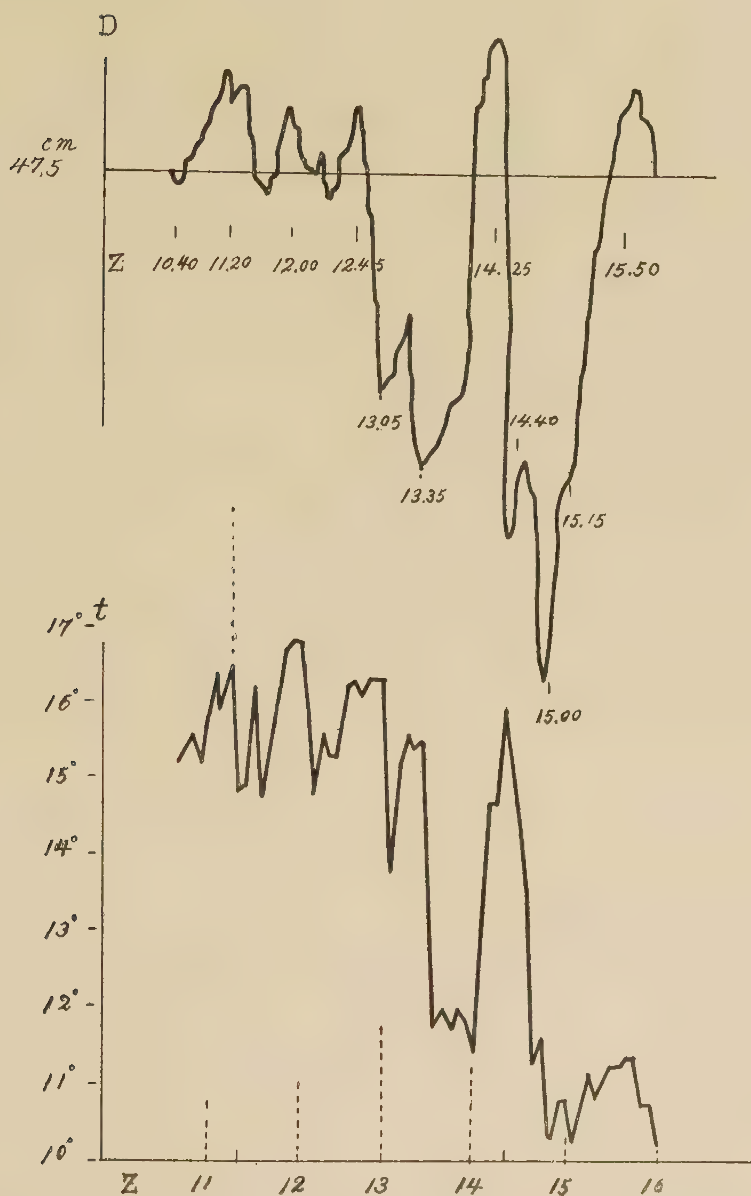


Fig. 32. Verlauf des Blutungsdruckes und der Sonnenenergie an ein und demselben etwas wolkigen Tage. Druckwechsel in 1/1.

Fig. 32 stellt ein am 20. März 1932 erhaltenes Beispiel dar. Dabei wurde die Druckkurve ohne Verkleinerung in 1/1 wiedergegeben und das Aktinogramm mit einem Schwarzkugelthermometer gewonnen.

Vergleicht man den Verlauf der beiden Kurven, so fallen die ziemlich gut parallel gehenden Schwankungen beider in die Augen. Zwar entspricht einem kleinen Druckwechsel ein ebensolcher aktinographischer Wechsel. Durch Reservierung der Sonnenwärme vermag der Baum aber nach einer schwachen Bestrahlung einen verhältnismäßig hohen Druck zu erzeugen. Das kommt vor, wenn die schwache Sonnenbestrahlung als Ganzes, soweit sie nicht von großem Abfall unterbrochen wird, langsam an Intensität zunimmt. (S. den Druckauftieg um 15^{50} Uhr). So sind kleine Abfälle des Aktinographen manchmal nicht in der Druckkurve ausgeprägt.

Das aktinographische Maximum erscheint um 12^{00} und das des Druckes um 14^{25}. Diese Abweichung beruht darauf, daß der Baum nachmittags besser als am Vormittage von der Sonnenbestrahlung betroffen wurde.

Auf Grund der obenstehenden Beschreibung können wir mit Recht den Schluß ziehen, daß sowohl kleine, als auch große Schwankungen des Blutungsdruckes von *Cornus* nicht nur auf den Wechsel der Sonnenenergie, sondern auch auf die nach der räumlichen Lage des Baumes veränderliche Bestrahlung, also, auch die aktuelle Einstrahlungsintensität des Baumes zurückzuführen sind.

e. Einflüsse der künstlichen Beschattung und der Besprengung auf den Druckwechsel

1. Künstliche Beschattung.

Mit Hilfe eines Schilfrohrvorhangs gelang es mir künstlich die Sonnenbestrahlung zu verändern. Zu diesem Zwecke wurde der Spitzenteil des *Cornus*-Baumes III, wie im vorigen Kapitel erwähnt, im vorigen Jahre abgeschnitten, um die Wirkung der Beschattung zu vervollständigen. So konnte ich den ganzen Hauptstamm und den größten Teil der Zweige beschattet halten.

Fig. 33 stellt das Resultat eines solchen Versuches und ein daneben mit Schwarzkugelthermometer erhaltenes Aktinogramm dar. Auf der Druckkurve bezeichnen die doppelten Pfeile den Anfang der künstlichen Beschattung, der einfache Pfeil aber das Weglassen des Vorhangs, also den Anfang der künstlichen Besonnung. Dabei ersieht man immer den erwarteten Druckwechsel. Besonders beachtenwert ist die Beeinflussung durch die um 13^{0} Uhr begonnene

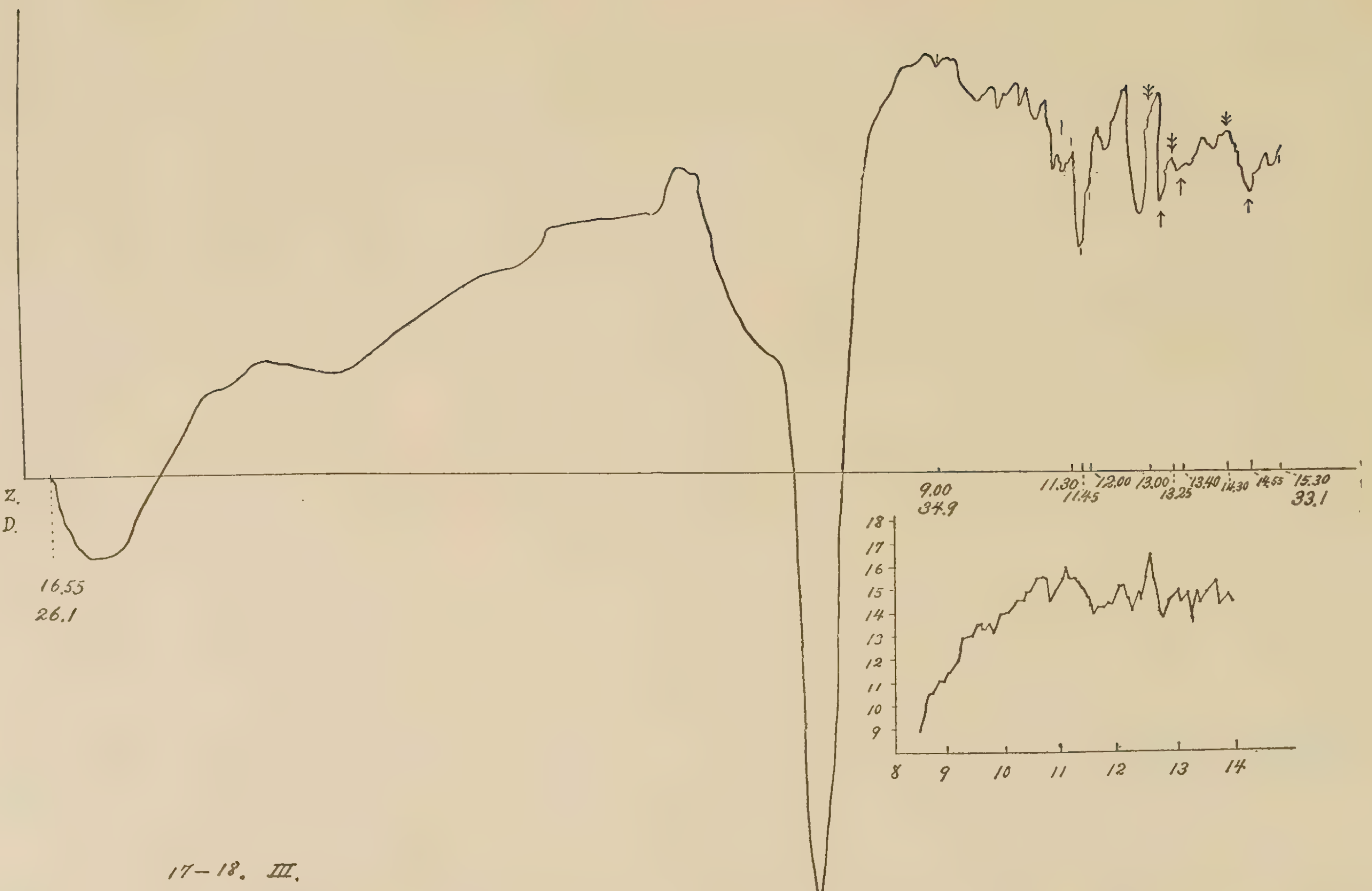


Fig. 33. Druckwechsel durch künstliche Beschattung des Baumes (Baum III), neben dem Wechsel der Sonnenenergie. Es zeigt sich eine ungewöhnliche Druckabnahme auf der Druckkurve um 6 Uhr. (Erklärung im Text).

künstliche Beschattung, die ein ziemlich ähnlich tiefes Tal wie das um 12³⁰ Uhr durch Wolken hervorgerufene, entstehen ließ.

Der Einfluß der künstlichen Beschattung oder Besonnung wird mehr oder weniger durch die in demselben Sinne wechselnde Sonnenbestrahlung verwischt, sodaß bei solchen Versuchen die neben einander gehende Messung der Sonnenwärme sehr erforderlich ist. Es zeigt sich aber auf dem beigefügten Aktinogramm kein merklicher Wechsel der Sonnenenergie zwisched 13–14 Uhr, was wohl die Erfolge des Versuches fast einwandfrei macht.

Beim Baum I war es wegen seiner großen Höhe sehr schwer, vollständig seine Zweige und seinen Stamm künstlich zu beschatten. Daher konnte ich nur den unteren 7 m langen Teil des Hauptstammes beschattet halten. Ungeachtet dieser unvollständigen Beschattung habe ich einmal eine plötzliche Druckabnahme von etwa 6 cm beobachtet. Kurz vor dem Anfang dieser Abnahme war der Druck nur um 3 mm tiefer als der maximale Druck desselben Tages. Ohne künstliche Beschattung hätte also sehr wahrscheinlich dort das Druckmaximum auftreten können.

Auf Grund der im vorliegenden Kapitel mitgeteilten Tatsachen sind wir nun imstande zu schließen, daß künstliche unvollständige Beschattung doch einen ziemlich merklichen Druchwechsel vervorzurufen vermag. Erstaunlich war es mir, daß der mit dicken Borken versehene Stammteil auf den genannten Eingriff durch ansehnliche Druckabnahme reagierte. Warum nun die Wärmeleitung durch die Borke möglich ist, ist schwer zu beantworten. Wir halten es aber, wie schon gesagt, für möglich, daß die Wärme verhältnismäßig leicht auf dem Wege der Lentizellen und Markstrahlen bis zum Holz übergeführt werden kann.

2. Künstliche Besprengung mit Wasser.

Der Einfluß der künstlichen Besprengung mit Wasser auf den Druckwechsel ist viel merklicher, besonders bei jungen Bäumen, als derjenige der künstlichen Beschattung. So genügte eine einmalige Besprengung des Hauptstammes, eine ansehnliche Druckabnahme hervorzurufen. Die Besprengung der Zweige und Äste, die ich öfters ausgeführt habe, ist also, soweit es sich nicht um einen besonderen Zweck handelt, überflüssig.

Mit Baum IV.

Zur Versuchszeit, also im März 1931, war der Baum etwa zehnjährig hatte am Grunde einen Umfang von etwa 28 cm, und war 5.50 m hoch. Da der obere Teil des Baumes schon im Jahre 1929 abgeschnitten war, war die Wundenheilung zu dieser Zeit ganz vollkommen.

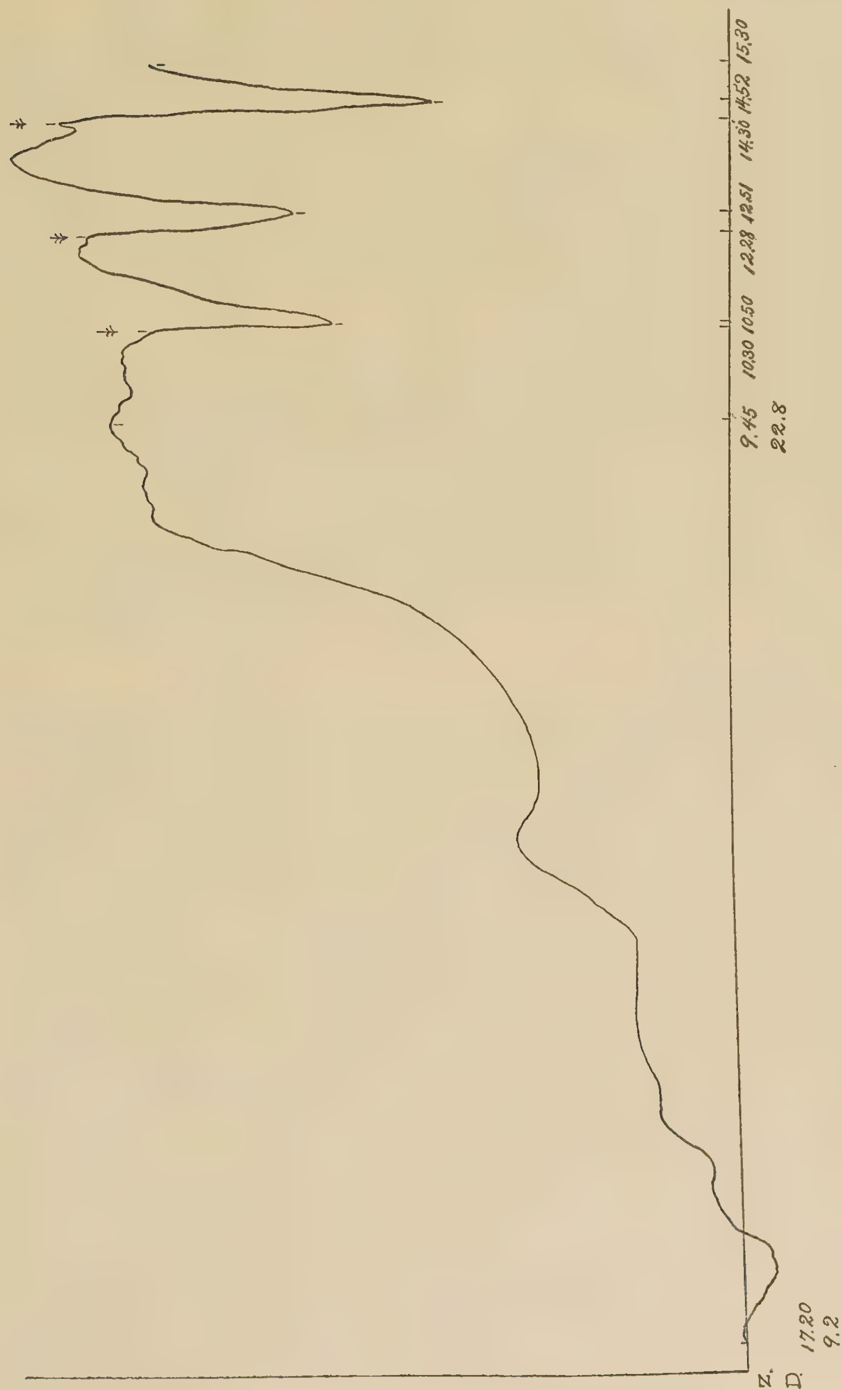


Fig. 34. Druckabfall eines Baumes (IV) durch Wassersprengung. (Erklärung im Text).

Der Standort des Baumes war nur im Süden und Südwesten offen, sodaß der Baum am Nachmittag, schöne Tagen vorausgesetzt, am stärksten bestrahlt werden konnte.

Fig. 34 zeigt uns zur Genüge, wie erstaunlich der Erfolg der Besprengung ist. Die Besprengung geschah insgesamt dreimal, nämlich um 10^{30}, 12^{28} und 14^{30}, jede derselben ist mit einem Pfeile ausgezeichnet. Die erst- und zweitmalige Besprengung geschahen nur auf den Zweigen, wobei aber unvermeidlich ein Teil des Haupfstammes benetzt wurde. Dann wurde zum drittenmal nur der Hauptstamm besprengt.

Mit der Besprengung soll zu solcher Zeit angefangen werden, wo der Blutungsdruck etwa konstant oder mehr aufsteigend verlaufend ist, weil sonst die in demselben Sinne wirkenden Wolken den Erfolg ganz verwischen würden. Nach dem Kurvenverlauf von Fig. 34 scheint je der Druckwechsel um 12^{28} oder um 14^{30} die einwandfreie Wirkung der Besprengung zu zeigen. Daß die um 14^{30} Uhr angefangene Besprengung am erfolglichsten erschien, ist sehr wahrscheinlich auf die große vorausgegangene Wärmeeinstrahlung zurückzuführen.

Mit Baum III.

Aus den vorgehenden Versuchen schien sich mir die Notwendigkeit zu ergeben, künstliche Beschattung und Besprengung parallel durchzuführen, um damit die Wirkung der Besprengung klar stellen zu können. So habe ich zuerst durch eine künstliche Beschattung des Hauptstammes den Druck absteigen lassen und dann während der Druckabnahme mit heißem Wasser[1] besprengt. Den Druckwechsel des so behandelten Baumes III ersieht man aus Fig. 35 zwischen 15^{25}–16^{00}, also zuerst, den Abstieg, dann den durch heißes Wasser hervorgerufenen Aufstieg und zuletzt einen erheblichen Abstieg. Der zweitmalige Druckabstieg läßt sich ohne Zweifel auf die durch Verdunstung hervorgerufene Wärmeausstrahlung zurückführen. Die ähnliche Wirkung des heißen Wassers zeigt sich auf Fig. 35 auch um 13^{00}, wobei heißes Wasser während der natürlichen Druckabnahme gesprengt wurde.

Um 11^{25} Uhr sieht man den Erfolg der Besprengung mit kaltem Wasser, der etwa in demselben Sinne wie der der Wolken vor sich geht.

Bei Beurteilung der Wirkung der Wasserbesprengung muß man stets die dabei von dem Baum behaltene Temperatur im Auge behalten. Die Abkühlungstätigkeit des kalten Wassers ist natürlich, wie es schon in vorgehenden Ver-

1) Das Wasser hatte am Versuchsbeginn eine Temperatur von etwa 60 °C.

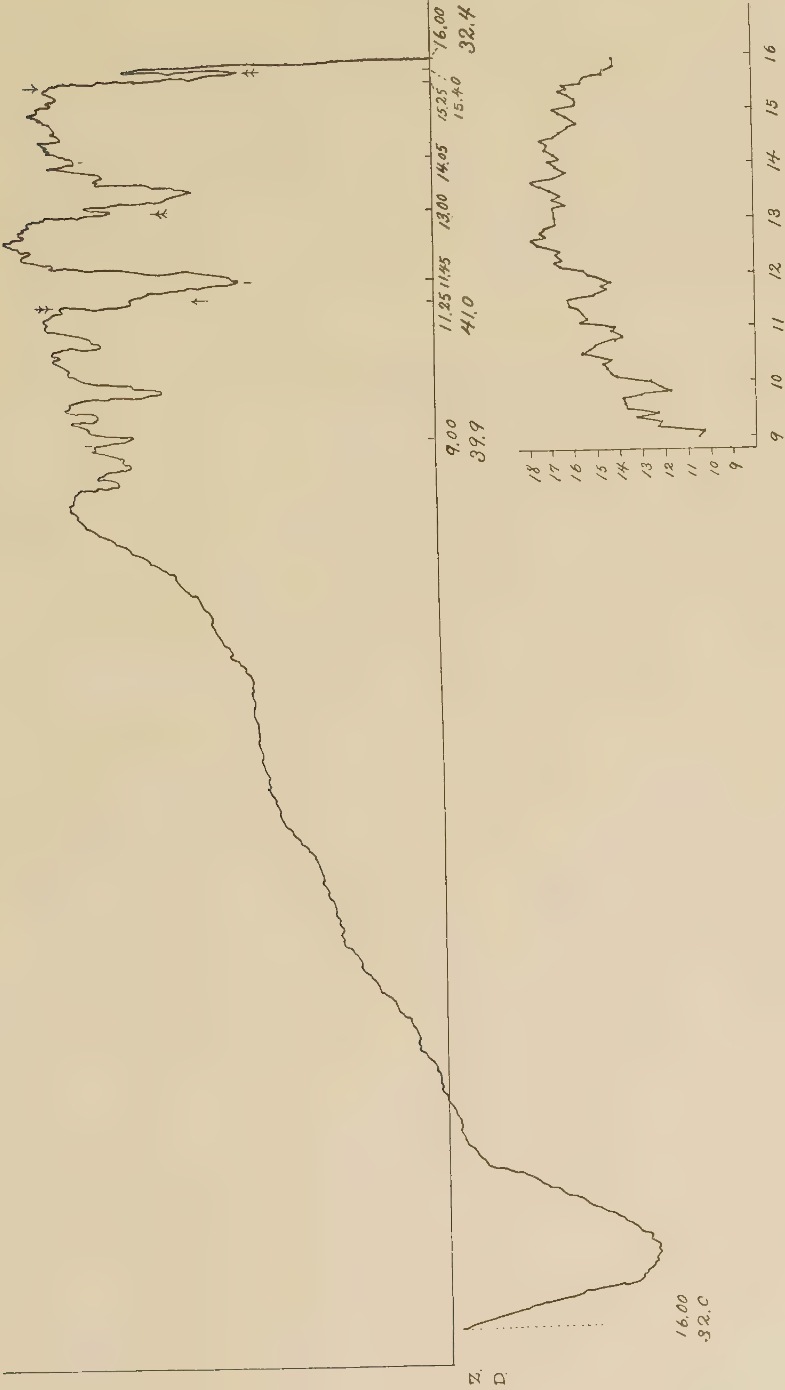


Fig. 35. Druckwechsel eines Baumes (III) durch die Besprengung mit heißem Wasser, neben dem Wechsel der Sonnenenergie. (Erklärung im Text).

suchen beobachtet wurde, am stärksten, wenn der Baum durch Einstrahlung der Sonnenwärme stark erwärmt[1] ist. Es ist also von vornherein zu erwarten, daß diese Tätigkeit in der Nacht weniger erfolgreich ist. Wenn es aber in der Nacht plötzlich zu regnen beginnt, so könnte die Druckabnahme doch infolge einer Abkühlungstätigkeit des Regens von Statten gehen, weil die Temperatur des Regens[2] gewöhnlich tiefer als die der Luft ist. Die Verdunstung des Regenwassers müßte natürlich die Abkühlung des Baumes und den dadurch bewirkten Druckabfall fördern.

f. Einflüsse des Windes und der Transpiration auf den Blutungsdruckwechsel

Es hat sich schon durch die Versuche in V, c herausgestellt, daß ein *Cornus*-Stengel, der eine ähnliche Temperatur, wie die der Luft besitzt, auf das Blasen eines Motor-Fächers hin keinen merkbaren Druckwechsel aufweist. Daraus ist ohne weiters ersichtlich, daß Wind in der Nacht oder an trüben Tagen keine nennenswerte Bedeutung für den Druckwechsel besitzt, weil zu diesen Zeiten der Stengel nicht oder nur in geringem Grade von der Sonne erwärmt wird.

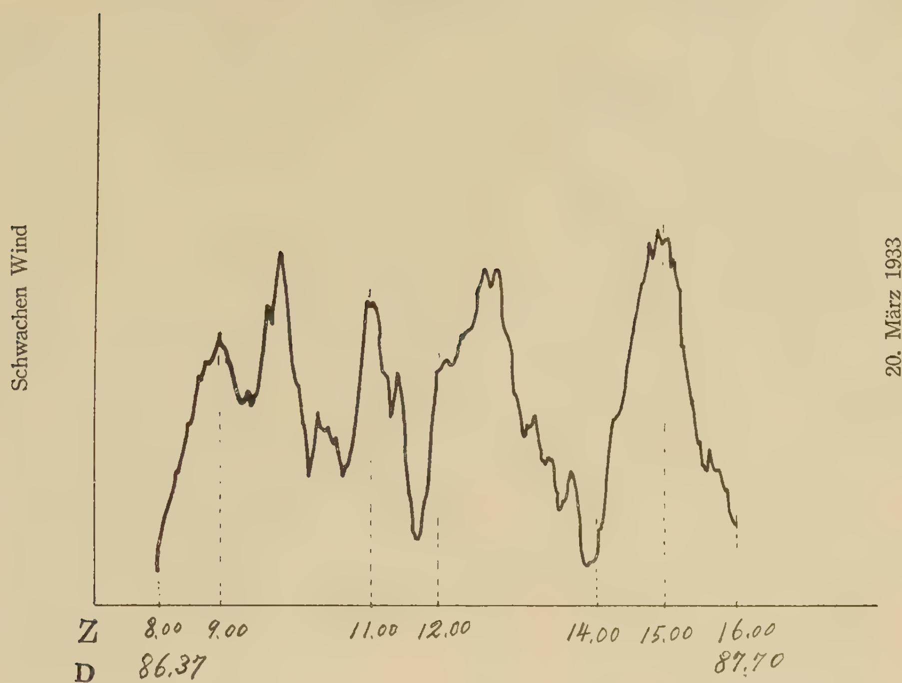
Der Fall liegt jedoch an schönen Tagen, wo der Stengel durch die Sonne stark erwärmt werden kann, ganz anders. Aus dem C_4—Versuch wissen wir, daß ein vorher künstlich erwärmter *Cornus*-Stamm durch die vom Motor-Fächer bewirkte Abkühlung eine etwas spitzigere Kurvenform als durch ruhige Luft zeigt. Im Freien war aber ein in solcher Weise vom Wind beeinflußter Fall schwer zu treffen. Die Figur 36 aus einem klaren stürmischen Tage scheint oberflächlich ein solches Beispiel zu liefern. So sieht man dort mehrere spitzigere Berge und zahlreichere Höcker als auf der Kurve von einem klaren schwach windigen Tag. Man kann aber diesem Verhalten die Deutnug geben, daß die durch Sturm getriebenen Wolken in einer heftigeren Weise als am Tage mit schwachem Wind vorbei gingen, und damit eine kompliziertere und etwas spitzigere Kurve hervorgebracht wurde.

Wir haben schon öfters gesehen, daß die Erfolge der künstlichen Erhitzung oder Abkühlung nach einigen Minuten auftreten (s. V, C.), was wohl mit einer verhältnismäßig schlechten Ein- und Ausstrahlung des *Cornus*-Zweiges zusammenhängt. Sehr merkwürdig ist nun, daß ein steiler Druckabfall am Abend

---

1) Über die durch die Sonne ausgeübte Erwärmung des Baumes wird die Rede im Absch. VII sein.

2) Hann—Süring, l. c. S. 324.



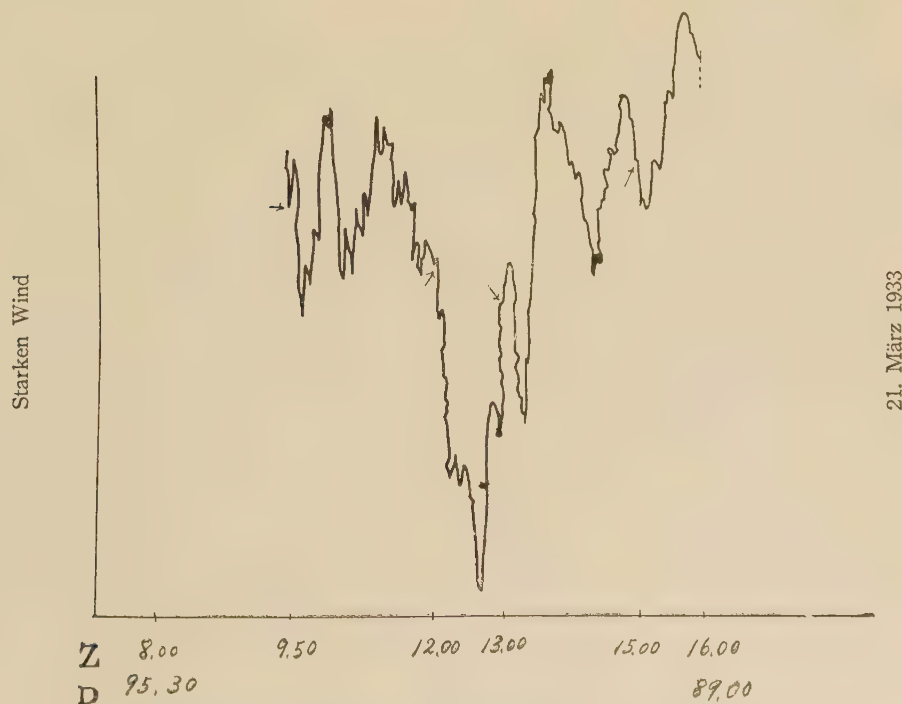


Fig. 36. Pulsatorische Druckschwankung an einem schwach windigen, oder stürmischen Tage. (Erklärung im Text).

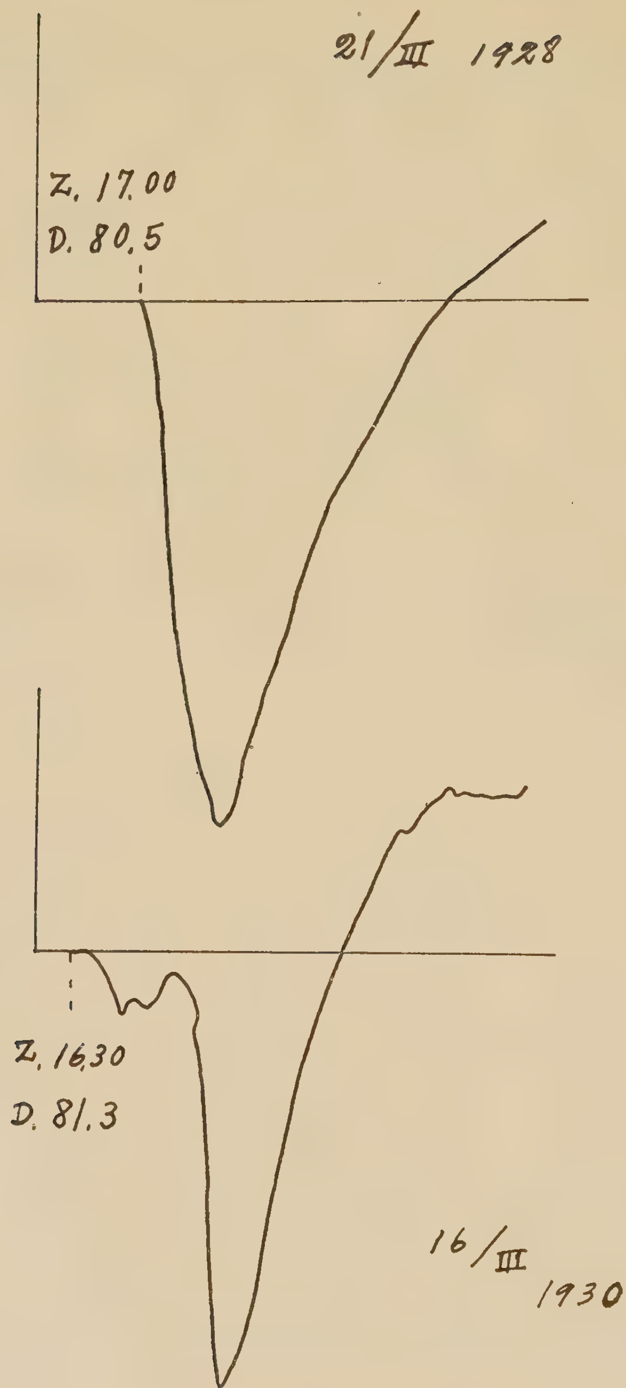


Fig. 37. Plötzlicher Druckabfall am Abend. Oben an einem stürmischen, unten an einem schwach windigen Abend.

eines klaren Tages auftritt. Bei Baum I findet derselbe in den meisten Fällen um 17–18 Uhr statt, also etwa eine Stunde oder weniger nach dem Sonnenuntergang hinter dem westlichen Wald, und daselbst entsteht ein tagesperiodisches Minimum. Die Geschwindigkeit des Druckabfalls ist sehr groß und ähnlich wie die um 6 Uhr sich vorfindende ungewöhnliche Druckabnahme. So fand ich am stürmischen Abend des 21. März 1928 einen Abfall um 20 cm in etwa 40 Minuten (S. Fig. 37, oben). Zuerst habe ich denselben für eine den starken Wind begleitende Erscheinung gehalten, später aber anders, weil gleiches am Abend mit schwachem Winde gefunden wurde. (S. Fig. 37, unten). Also die Voraussetzung für einen solchen Vorgang ist eine gute Wärmeeinstrahlung am Tage, die am Abend in energischer Weise ausgestrahlt wird. Ich lasse aber dahingestellt bleiben, ob starker Wind ein tieferes Tal, als bei schwachem Windvorhanden, hervorbringt.

Im Hinblick auf die bereits erwähnte unvollkommene Wärmeausstrahlung eines ziemlich dicken *Cornus*-Stengels ist es nun wünschenswert, die Transpirationsrate sowohl des unbelaubten als auch des belaubten Astes genau festzustellen.

Transpiration der unbelaubten *Cornus*-Äste

Zur Messung der Transpiration eines *Cornus*-Astes bediente ich mich eines Potetometers, weil die Gewichtsverlustsmethode einen Fehler mit sich bringt. Da die Schnittfläche des Astes, wie im folgenden Versuch ersichtlich, bei einer Temperaturzunahme zu bluten kommt, so ist die gewöhnliche Gewichtsverlustmethode als unbrauchbar erwiesen.

Schon im Jahre 1878 beobachtete AD. PITRA[1] die Guttation des Schnittendes eines mit Laubblättern versehenen Zweiges, indem er diesen invers unter Wasser tauchte. Der Autor erklärt die Erscheinung dadurch, daß ein positiver Druck als Folge des von Blättern absorbierten Wassers zustande kommt. Das kann sein; daneben ist aber die Wirkung der durch Temperaturwechsel hervorrufenden Druckzunahme unerläßlich.

Im folgenden werde ich einen im Freien mit dem Potetometer ausgeführten Versuch beschreiben.

Der dabei verwendete Ast war etwa 60 cm lang, mit fünf Seitenästen und 15 Knospen versehen. Die Schwere des ganzen betrug etwa 17 g.

1) Versuch über die Druckkräfte der Stammorgane bei den Erscheinungen des Blutens und Thränens der Pflanzen. Jahrb. f. w. B. 1898, S. 453.

Zeit	T. des im Potetometer enthaltenen Wassers	Meniscus des Potetom.	Bemerkung
9^{20} (18. März 1932)	10 °C	87.5	Die Sonne scheint.
9^{30}	10 „	87.6	„
9^{40}		87.6	„
9^{50}	12 „	87.6	„
10^{10}	12 „	87.7	„
14^{50}	18 „	86.2	Nur der Ast künstlich beschattet.
15^{00}	18 „	85.9	Meniscus verschob sich um 0.3 cm.

Da der Meniscusabstand von 1 cm 0.048 ccm entspricht, so besitzt derselbe von 0.3 ein Volumen von 0.012 ccm. Wenn die Sonne den Potetometer zusammen mit dem Aste bestrahlte, so ging der Meniscus plötzlich, im Sinne der Volumzunahme hin. Wenn die Sonnenbestrahlung künstlich abgedeckt wurde, so ging der Meniscus nach der anderen Richtung. Das dabei stattfindende Hin- und Hergehen des Meniscus beginnt so plötzlich, daß keine merkliche Temperaturänderung des im Potetometer enthaltenen Wassers beobachtet wird. Somit muß die guttierende Erscheinung mit einer durch Bestrahlung verursachte Druckzunahme, welche die schon erwähnten C—Versuche einwandfrei machen, im Zusammenhange stehen.

Als Resultate des oben genannten Versuches habe ich die folgende Transpirationsrate des Astes erhalten:

0.0085 ccm pro 10 g Frischgewicht je 1 Stunde.
also anders $2.4 \cdot 10^{-6}$ ccm/10 g/1 Sekunde.

Es stellt sich nun heraus, daß *Cornus*-Äste eine sehr geringe Transpiration aufweisen. Also ist ein Einfluß der Transpiration eines unbelaubten Astes auf den Druckwechsel kaum anzunehmen.

Transpiration einer belaubten Topfkultur im Zusammenhange mit dem Druckwechsel

Es unterliegt keinem Zweifel, daß ein belaubter *Cornus*-Baum durch Transpiration einen ansehnlichen Druckabfall aufweist. Um einen Stützpunkt darüber zu erhalten, habe ich die ganzen Blätter einer Topfkultur mit paraffinierten Papierstücken eingehüllt. Der dabei erhaltene Druckwechsel und derjenige der Boden- und Lufttemperatur waren die folgenden:

Der Versuch fand am 30. Marz 1928 in einem Gewächshaus statt.

Zeit	B-T	L-T	Druck	Bemerkung
14^{00}	16.5 °C	19 °C	−7.4 cm	
14^{30}	„ „	18 „	−7.4 „	
15^{00}	„ „	18 „	−7.3 „	
15^{30}	„ „	17 „	−7.2 „	
16^{00}	„ „	16.5 „	−7.0 „	
16^{30}	„ „	16.5 „	−6.8 „	
17^{15}	„ „	17 „	−6.4 „	Druck etwa 1 cm höher.
11^{00} (des nächsten Tages)			−0.65 „	

Während des Versuches, von 14^{00} Uhr bis 17^{15}, war die Bodentemperatur fast unverändert und die Lufttemperatur innerhalb geringen Weiten wechselnd. Da die letztere aber immer tiefer ging, so mußte auch der Blutungsdruck, soweit andere Faktoren nicht berücksichtigt werden, abnehmend wechseln. Entgegen dieser Erwartung stieg der Druck aber immer nach oben auf, was ohne weiteres die Wirkung der gehinderten Transpiration aufweist.

Ein weiterer Versuch wurde mit einer Topfkultur, die schon infolge der fortgeschrittenen Transpiration einen negativen Blutungsdruck aufwies, gemacht. Um den negativen Druck zu messen, habe ich einen geschlossenen, mit Toricellischer Leere versehenen Quecksilbermanometer gebraucht. Mit diesem Manometer entspricht der Druck von 76 cm demjenigen von 0 bei einem gewöhnlichen offenen Manometer.

Nun wechselte der Blutungsdruck je nach der Behandlung, ob nämlich die Blätter eingehüllt wurden oder nicht, folgendermaßen:

Versuchsweise	Versuchsdauer	Druckwechsel	B-T	L-T
Unbehandelt	11^{40}–17^{30}	73.1–58.0 cm	18–19 °C	19–23 °C
Behandelt	11^{33}–17^{30}	73.1–61.1 „	„ „	20–23 „

Es war also der Druck bei gehinderter Transpiration etwa 3 cm höher als sonst. Da die Boden- und Lufttemperatur bei beiden Versuchen fast gleiche sind, so dürfte fast kein Versuchsfehler dabei mitgeklungen haben.

Zum Schlusse möchte ich erwähnen, wie eine den Blättern entnommene Topfkultur ihren Blutungsdruck verändern ließ.

Um 9^{00} Uhr am 13. April 1929 habe ich alle mit gut entwickelten Blättern versehenen Äste mit dem Hauptstamm abgeschnitten. Als ich nun den Manometer auf dem neuen Stammstumpfe befestigte, fiel es mir auf, daß der Blutungsdruck immer aufsteigend und zwar vom negativen bis auf stark positiven verlief.

Datum	Uhr	L–T	B–T	Druck
13. Apr.	9^{45}	11.8 °C	11.3 °C	− 4.0 cm
„	17^{00}	19.3 „	12.0 „	+ 3.2 „
„	18^{00}	17.5 „	12.3 „	+ 3.2 „
15. Apr.	9^{00}	10.0 „	11.7 „	+12.5 „
„	12^{00}	16.0 „	11.5 „	+13.0 „
„	14^{00}	18.0 „	11.5 „	+13.5 „

Beim vorliegenden Versuche ist eine irremachende Wirkung, besonders der Lufttemperatur wahrzunehmen. Die dabei erhaltene Druckzunahme liegt aber weit über der Fehlergrenze, sodaß der Einfluß der gehinderten Transpiration auf eine derartige Erscheinung kaum zu bezweifeln ist.

Nach etwa einer Woche zeigte der in Rede stehende Baum wieder einen negativen Druck, was natürlich auf eine andere Ursache[1] zurückzuführen ist.

Zusammenfassend dürfen wir schließen, daß wir es bei der ansehnlichen unmittelbar nach der Blattentfaltung beobachteten Druckabnahme nicht mit echtem Abfalle des Wurzel- und Außendruckes, sondern mehr mit einem Hemmungsvorgang zu tun haben.

g. Bedeutung des tagesperiodischen Druckmaximums und- minimums

Schon im III. Abschnitte habe ich erwähnt, daß das tagesperiodische Druckmaximum nach vorhergehendem kalten Wetter höher als sonst steigt. Weiter wissen wir aus verschiedenen im V, c ermittelten Versuchen zur Genüge, daß eine höhere Sonnenbestrahlung ein entsprechend höheres Druckmaximum mit sich bringt. Also sind die vorangehende tiefere Lufttemperatur und gute Sonnenbestrahlung des betreffenden Tages die Voraussetzung eines höheren Tagesmaximums. Solches Beispiel habe ich am 25. März 1927 gefunden, indem die Zunahme des Tagesmaximums da 8.3 cm betrug. (Vergl. die Tabelle auf Seite 84).

Ein hohes Tagesmaximum fällt aber nicht notwendigerweise mit einer höheren Kurve zusammen. Eine solche Kurve entwickelt sich, wenn die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Druck groß ist. An Regen- und Schneetegen bekommen wir, wie schon öfters gesagt, tiefe Kurven, wobei aber die Aufsteigungsrate des Druckes nicht immer klein ist. Eine hohe Kurve

---

1) Es kam eine Knospe aus der Oberfläche des Stengelstumpfes hervor, was wohl mit der Abnahme des osmotischen Außendruckes sowohl der Wurzel, als auch des Stengels im Zusammenhange stehen könnte.

kommt gewöhnlich an schönen Tagen vor, genauer gesagt, wenn das Tagesmaximum, und besonders das -minimum ausgezeichnet ist.

Das Auftreten des Tagesminimums ist, wie man aus den im V, c beschriebenen Versuchen sieht, auf eine durch Baumabkühlung hervorgerufene plötzliche Druckabnahme, anders auf eine Abnahme des physikalischen Außendruckes zurückzuführen. Gegen diese Druckabnahme wirkt sowohl der Wurzeldruck, als auch der osmotische Außendruck des Stengels. Wir haben im Absch. III gesehen, daß das Tagesminimum je nach Stadium stark verschiebbar ist, was ohne Zweifel auf den Wechsel der eben genannten antagonistischen Drücke zu rechnen ist.

Im großen und ganzen erhalten wir an einem schönen Tage eine hohe Kurve, weil da sowohl ein ausgezeichnetes Druckmaximum, als auch-minimum auftritt. Das ist natürlich auf eine gute am Tage stattfindende Wärmeeinstrahlung und auf eine am Abend entsprechend stark vor sich gehende Wärmeausstrahlung zurückzuführen. Als eine andere Bedingung für das Zustandekommen einer hohen Kurve ist auch ein ausgezeichnetes Tagesminimum des vorigen Tages, das auch an schönen Tagen zu erwarten ist, zu rechnen.

h. Bedeutung der Nachtkurve

Schon im Abschnitte III habe ich die Mitteilung gemacht, daß die Nachtkurve je nach dem Blutungsstadium, anders je nach den verschiedenen Auftrittszeiten des Druckminimums stark variabel ist. So verläuft die Nachtkurve im früheren Stadium immer absteigend, im Hauptblutungsstadium aber immer aufsteigend und im späteren Stadium ab und aufsteigend. Daraus ist es verständlich, daß eine Nachtkurve aus dem Zusammengreifen der antagonistisch wirkenden Ursachen, also einerseits der druckretardierenden Tätigkeit durch Baumabkühlung und Transpiration der Laubblätter, anderseits der druckfördernden Tätigkeit durch Wurzeldruck und osmotischen Außendruck des Stengels, resultiert. Dieser Schluß wird durch die verschiedenen schon im vorliegenden Abschnitt erhaltenen Resultate unterstützt. Zwar sieht man gleich nach dem Verlauf eines großen Druckabfalls, bzw. beim Hauptblutungsstadium, eine plötzliche Druckzunahme, die natürlich auf einer enormen Wirkung des Wurzel- und osmotischen Außendruckes beruht.

Im allgemeinen ist die Nachtkurve durch die viel geringeren und langsameren Druckschwankungen als die Tageskurve charakterisiert. So kann man die Nachtkurve etwa mit der Tageskurve an Regentagen vergleichen. Die

fehlende Wärmeeinstrahlung dürfte die hauptsächlichste Ursache davon bei beiden Fällen übereinstimmend sein.

Genauer gesagt ist die Nachtkurve manchmal mit ziemlich merklichen Schwankungen versehen. Einen solchen Fall habe ich besonders in der Nacht mit plötzlichem Regen beobachtet. Ein merkwürdiger Abfall um 23–24 Uhr in der Fig. 43 fällt nämlich mit der von Regen bewirkten Abkühlung zusammen. Manchmal ist der entsprechende Druckabfall so plötzlich, daß wir denselben als außergewöhnlichen bezeichnen können. (Vergl. Abschn. VIII).

Wenn es beständig die Nacht hindurch regnet, so ist der Druckwechsel da sehr unmerklich. (Vergl. Fig. 5).

Während einer klaren Nacht zeigt sich doch ein langsamer, unmerklicher Druckwechsel, der sehr wahrscheinlich mit einem wenig schwankenden Temperaturwechsel[1] des Baumes, bzw. der Äste im Zusammenhange steht.

Über den Einfluß der Windgeschwindigkeit auf den nächtlichen Druckwechsel konnte ich bis jetzt kaum etwas feststellen.

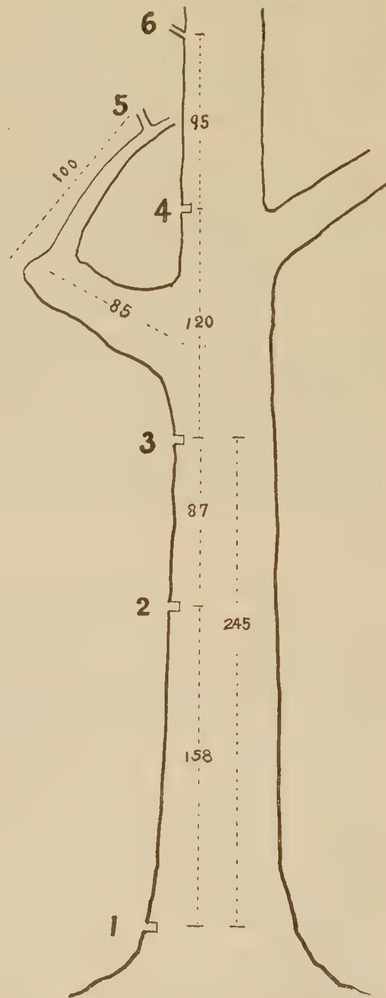


Fig. 38. Gelöcherte und geschnittene Stellen von *Cornus*-Baum (I).

VI. Blutungsdruck in verschiedener Stammhöhe

Der Blutungsdruck wechselt sich, wie schon von mehreren Forschern[2] bestätigt wurde, je nach den Höhenlagen des Baumes. So nimmt derselbe bei den meisten Laubhölzern nach oben ab, bei *Cocos* und *Acer* aber zu. Hinsicht-

1) Darüber sehe man im Abschn. VII ein.

2) J. H., PRIESTLEY, On the solutes exuded by root pressure from vines. The new Phytolog. Vol. 23, 1925, No. 1.

lich der genauen Wechselweise desselben sind wir noch ganz im unklaren.

Im März 1931 habe ich deshalb bei Baum I darüber ausführlich untersucht. Dabei habe ich einen Manometer wie Fig. 1 es klar stellt, 40 cm hoch über dem Boden, zwei andere je 158 oder 254 oberhalb des ersteren, jede beinahe in einer vertikalen Richtung, befestigt.

Nach einer Anzahl von Beobachtungen habe ich erkannt, daß die Druckdifferenz zwischen dem oberen und unteren Manometer nicht immer gleich, sondern je nach den Zeiten innerhalb geringer Weiten schwankend ist.

Um darüber eine klare Kenntnis zu gewinnen, habe ich einen an Durchmesser etwa 3.5 cm messenden Zweig an der Stelle 5 abgeschnitten und den dadurch erfolgten Druckwechsel der Manometer an beiden Stellen, 1 und 3 beobachtet. Das Ablesen des Manometers geschah gleichzeitig, also durch zwei Beobachter. Das dabei erhaltene Resultat ist in der Fig. 39 und der beigefügten Tabelle IV ersichtlich.

Tabelle IV.

Versuchsdatum: 13. März 1931

Zeit	Druck an I	Druck an 3	Druckdifferenz	Bemerkung
14^{57}	65.10 cm	47.3 cm	17.40 cm	Hahn geöffnet.
14^{58}	64.65 „	45.7 „	18.95 „	3 Tropfen bluten in einer Sekunde.
14^{59}	64.30 „	45.3 „	19.00 „	Differenz wird immer größer.
15^{00}	63.70 „	44.6 „	19.10 „	
15^{01}	63.28 „	44.0 „	19.28 „	
15^{02}	63.15 „	43.5 „	19.65 „	
15^{03}	62.65 „	43.1 „	19.55 „	
15^{04}	62.25 „	42.9 „	19.35 „	
15^{05}	51.75 „	42.8 „	18.95 „	
15^{06}	61.63 „	42.8 „	18.85 „	
15^{07}	61.53 „	42.8 „	18.75 „	
15^{08}	61.45 „	42.6 „	18.85 „	
15^{10}	61.25 „	42.2 „	19.05 „	
15^{12}	61.15 „	41.3 „	19.85 „	Maximale Differenz.

Zeit	Druck an I	Druck an 3	Druckdifferenz	Bemerkung
15^{14}	59.85 cm	40.6 cm	19.25 cm	
15^{24}	57.21 „	38.5 „	18.71 „	Um 15^{28} Hahn geschlossen.
15^{30}	57.90 „	41.0 „	16.90 „	
15^{32}	58.60 „	41.8 „	16.80 „	
15^{34}	59.10 „	42.2 „	19.90 „	
15^{36}	59.65 „	42.6 „	17.05 „	
15^{38}	60.01 „	43.0 „	17.01 „	

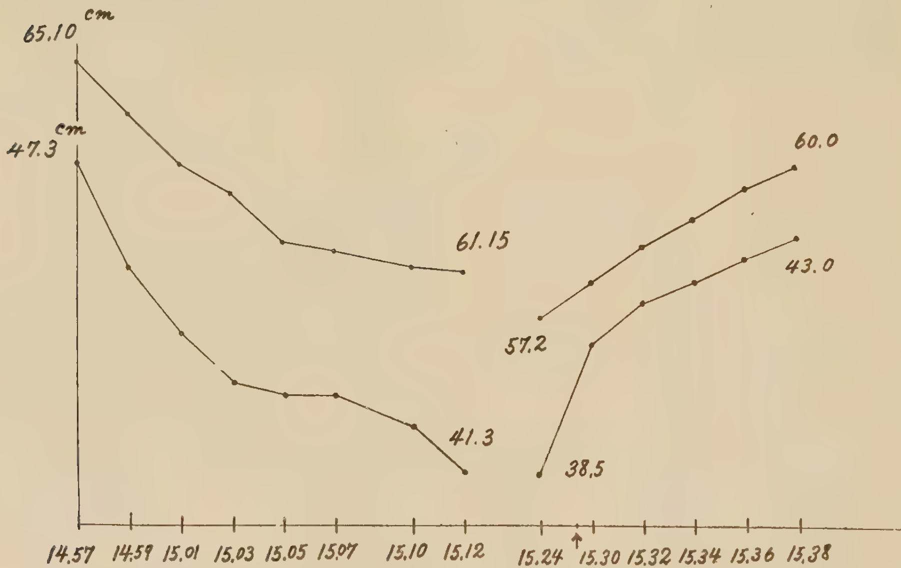


Fig. 39. Der durch Abschneiden eines oberen Astes und durch das Schließen der Wundfläche resultierende Druckwechsel am hoch und nieder gestellten Manometer. Druckdifferenz auf der Ordinate, Stundenverlauf auf der Abscisse. ↑ bedeutet das Schließen der Wundfläche.

Obere Kurve entspricht dem unteren, untere Kurve dem oberen Manometer.

In Fig. 39 sieht man klar, daß die Druckdifferenz unmittelbar nach dem Abschneiden zu- und gleich nach dem Schließen der Wundstelle abnehmend verläuft. Diese Tatsache ist dadurch zu erklären, daß der Druckwechsel einer hoch liegenden Stelle des Baumes eine stärkere Druckveränderung an einem oben stehenden Manometer als an einem unten stehenden hervorruft.

Äste und kleine Zweige lassen ihre Temperatur leichter als große Zweige und der Hauptstamm verändern, sodaß der thermische Druckwechsel am stärksten an den oberen Stellen des Baumes vor sich geht. So können wir eine weitere Druckschwankung an dem oberen Manometer als an dem unteren erwarten. Im Jahre 1931 fand ich die Druckdifferenz zwischen den Manometern an I und 3, 16.6–19.0 cm, aber diejenige zwischen den Manometern an 1 und 2, 11.15–13.0 cm. Das bedeutet, wie erwartet, daß die obere Stelle des Baumes eine stärkere Druckschwankung, als an der unteren Stelle vorhanden, erfährt, oder anders ausgedrückt, daß die Druckschwankungen im großen und ganzen von den oberen Stellen des Baumes stammen. Darauf werde ich später noch einmal zurückkommen. Als die mittlere Druckdifferenz zwischen dem oberen und unteren Manometer ergaben sich nun die folgenden:

Unterer-oberer Manometer	Abstand	Mittlere Druck-differenz	Mittlere Druckdifferenz pro 100 cm Abstand
1–2	158 cm	11.9 cm	7.5 cm
1–3	245 „	17.9 „	7.3 „

Da die Druckdifferenz zwischen 1 und 2 aus den am Nachmittag erhaltenen Werten berechnet wurde, so fiel dieselbe etwas höher aus. Deshalb halte ich den Wert 7.3 cm für eine richtigere mittlere Druckdifferenz pro 100 cm Abstand. Solche große Druckabfallsrate steht ohne Zweifel mit einem großen Filtrationswiderstand im Zusammenhange. Der Widerstand von 7.3 cm pro 100 cm macht 21.9 cm pro 3 m. Nach HUBER[2] beträgt der Filtrationswiderstand einer Transpirationsströmung etwa 76 cm pro 3 m, also viel höher als der der Blutungsströmung bei *Cornus*, was wohl eine größere Strömungsgeschwindigkeit der ersteren vermuten läßt.

Strömungsgeschwindigkeit des Blutungssaftes

Über die Strömungsgeschwindigkeit des Blutungssaftes ist bis jetzt nichts Sicheres bekannt. So habe ich mittelst einer Farbstoffmethode versucht, darüber einen Beitrag zu liefern. Dabei bediente ich mich eines an Umfang am Grunde etwa 20 cm messenden, als zehnjährig geschätzten Baumes. Nachdem ein Bohrloch am Grunde desselben hergestellt wurde, wurde in denselben

1) Ausnahmsweise fand ich einmal durch die Verwundnng an 4 eine stärkere Druckerniedrigung an I als an 3, was sehr wahrscheinlich von einem großen dicht unter 4 hervorragenden Zweige abhängig sein dürfte.

2) Zitiert nach einer Arbeit von FREY WYSSLING, l. c.

eine konzentrierte Indigocarminlösung hineingegossen, und dann wurde er luftdicht mit einem Kautschuckpfropfen verschlossen. Die Versuchsprotokolle lauteten folgendermaßen.

Versuchsbeginn: 15^{45}, 29. März 1927.
Versuchsschluß: 10^{45}, 30. „ „
Aufwärtsbewegung: 120 cm pro 20 Stunden: 6 cm/St.
Abwärtsbewegung: 18 cm „ „ „ : 0.9 cm/St.

Daraus ist es begreiflich, daß der Farbstoff nicht nur nach oben, sondern nach unten beweglich ist. Es ist schon von HIRSCHFELD[1] hervorgehoben, daß das Absteigen einer Farbstofflösung neben einer Transpirationsströmung möglich ist. Über den Mechanismus dieser Erscheinung sind wir aber derzeit noch ganz im unklaren. Wenn die thermische Volumvergrößerung der unterhalb des Bohrloches liegenden Gefäße, wie schon öfters gesagt, möglich ist, so ist die Absteigung der Farbstofflösung unbedingt zu erwarten.

Die oben erhaltene Aufsteigungsgeschwindigkeit der Blutungsströmung steht derjenigen der Transpirationsströmung sehr weit nach. Ein anderer Versuch mit einer Methylenblaulösung stellte mir einen noch kleineren Wert dar. Danach darf man den Blutungssaft für fast sistiert halten. Also ist die Toricellische für eine hydrodynamische Wasserströmung abgeleitete Formel bei einer intakten Blutungsströmung nicht gültig, sondern mehr eine hydrostatische.

Im folgenden werde ich deshalb eine hydrostatisch begründete Formel betreffs der Blutungsströmung ableiten.

Wir denken uns, daß der Blutungsdruck (d) sich mit der Höhe (h) verkleinert, aber parallel mit der Strömungsgeschwindigkeit (v) verläuft.

Nun

$$\frac{dD}{dh} = -kv$$ wo k[2] eine Konstante.

$$dD = -kv.dh$$

$$\int_o^h dD = -k\int_o^h v.dh$$ wo v als konstant angenommen.

$$Do\text{-}Du = -kvh$$ wo man Do als den Blutungsdruck an einer oberen Stelle, und Du als denselben an einer unteren betrachtet.

1) L. BIRCH-HIRSCHFELD, Untersuchungen über die Ausbreitungsgeschwindigkeit gelöster Stoffe in den Pflanzen. Jahrb. f. w. B. 1920.

2) Da der Druck mit dem Querschnitt der Gefäße invers proportionell, und mit dem Strömungswiderstand η recht proportionell geht, so $k = \frac{\eta}{q}$ c, wo c eine Konstante.

Also

$$Du = Do + kvh$$

$$k = \frac{Du\text{-}Do}{vh}.$$

Setzt man für $\frac{Du\text{-}Do}{h}$ den beobachteten Wert, also 7.3 cm pro 100 cm, und für v 6.0 cm[1] pro Stunde ein, so kann man die Formel lösen. Da der Wert 7.3 cm mit der Quecksilbersäule aufgezeigt ist, so muß derselbe zur Wassersäule[2] umgerechnet werden.

Nun

$$\frac{Du\text{-}Do}{100} = 99 \text{ cm}.$$

Also

$$\frac{Du\text{-}Do}{1} = 0.99 \text{ cm}$$

$$k = \frac{0.99}{6} = 0.165 \text{ cm}$$

$$v = \frac{Du\text{-}Do}{0.165.\,h.} \text{ cm pro Stunde.}$$

Diese Formel zeigt die mittlere Strömungsgeschwindigkeit, wenn der mittlere Wert für $\frac{Du\text{-}Do}{h}$ angegeben wird. Wenn der Wert $\frac{Du\text{-}Do}{h}$ aber in einer ziemlich großen Weite veränderlich ist, so muß auch dem entsprechend der Wert von v variabel sein.

Ein merkwürdiger Blutungsdruckwechsel stammt, worauf schon hingewiesen wurde, aus den oberen Teilen des Baumes. So bei Druckaufstieg nimmt $\frac{Du\text{-}Do}{h}$, und infolge dessen auch v ab, dagegen nehmen bei Druckabstieg beide zu.

Im allgemeinen nimmt der Blutungsdruck am Frühvormittag zu, und am Spätvor- und Nachmittag ab. Demnach muß die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im ersteren kleiner als in beiden letzteren sein.

Bei einer sogenannten ungewöhnlichen Druckabnahme, die auch auf einer Abkühlung der oberen Teile des Baumes beruht, wird die Zunahme von v

1) Ob dieser Wert im allgemeinen giltig ist, ist derzeit nicht klar.

2) Da spezifisches Gewicht des Blutungssaftes fast 1 ist, so ist die Umrechnung als richtig anzunehmen.

sehr ansehnlich sein. Als ein Beispiel sei die am 27. März 1927 beobachtete ungewöhnliche Abnahme genannt, wo der Druck auf einmal etwa 45 cm in einer Stunde abwärts ging. Nach den in der Tabelle angeführten Zahlen verhält sich die Druckabsteigung um 4 cm an I zu derjenigen um 6 cm an 3. Also verhält sich der Druckabstieg um 45 cm an 1 zu demjenigen um 67.5 cm an 3. Dabei ist die Druckdifferenz beider etwa als 40 cm[1] anzunehmen. Daraus

$$\frac{Du\text{-}Do}{100} = 220\,\text{cm (berechnet als eine Wasser-Säule).}$$

Wir nehmen den Wert von k, also 0.165 auch im Falle der ungewöhnlichen Druckabnahme als beständig an, weil der mittlere Wert von $\frac{Du\text{-}Do}{h}$ auch dort als konstant betrachtet werden könnte.

Nun

$$v = \frac{2.2}{0.165} = 13\,\text{cm}.$$

Wenn der Blutungsdruck plötzlich aufsteigt, so nimmt $\frac{Du\text{-}Do}{h}$, wie es in der Tabelle ersichtlich, auch plötzlich, und dem zufolge auch v ab. In diesem Fall wird v manchmal weit unter den mittleren Wert zu fallen kommen.

VII. Fortpflanzungsweise des Blutungsdruckwechsels und Entstehungsort desselben

Es ist wohl bekannt, daß die Leitungsgeschwindigkeit eines hydraulischen Druckes bei 8 °C etwa 1435 m pro Sekunde beträgt. Aus diesem Grunde ist also das zeitliche Zusammenfallen des Druckwechsels beider an der oberen und unteren Stelle erhaltenen Kurven zu erklären.

Fig. 40 a und b stellen die am Grunde und an einer über jenem etwa 3.82 m weit entfernten Stelle des Baumes 1 gewonnenen Kurven dar. Man ersieht aus beiden Figuren den völlig gleichzeitigen Druckwechsel, aber die abweichende Größe desselben. Und zwar finden sich in der an der oberen Stelle erhaltenen Kurve tiefere Täler und höhere Berge als in der unten erhaltenen vor. Da die beiden Kurven selbstregistriert wurden, so wird der im vorangehenden Kapitel erhaltene Schluß dadurch weiter verstärkt. Nun können wir mit Bestimmtheit sagen, daß der Entstehungsort des merkwürdigen Druck-

1) Druckdifferenz kurz vor Druckabnahme sei etwa als 18 cm gedacht.

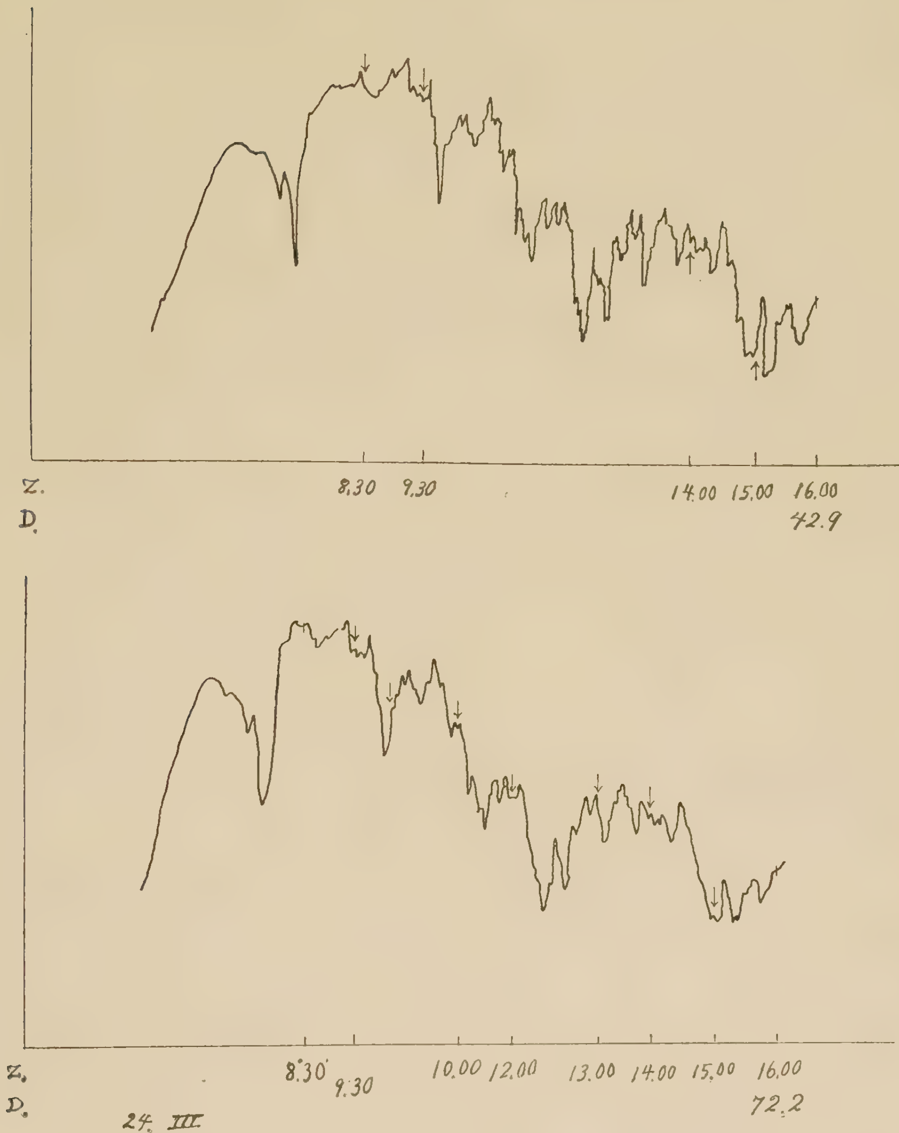


Fig. **40.** Druckwechsel eines oben und unten angesetzten Manometers.
D...... Druck in cm auf der Abszisse.
Z...... Zeit in Stunden auf der Ordinate.

wechsels, von dem der jahreszeitlichen Druckzunahme abgesehen, an den oberen Stellen des Baumes liegt.

Auf Grund des oben Erwähnten wissen wir, daß zwei in vertikaler Richtung über einander liegende Holzteile eines Baumes um so inniger, soweit nicht

große Zweige dazwischen hervorragen, betreffs des Blutungsdrucks in Verbindung stehen, je näher sich beide liegen.

Liegen das obere und untere Bohrloch nicht in vertikaler Richtung, so ist eine schlechte Kommunikation der dazwischen vorhandenen Saftströmung, Respinieren des Holzes ausgenommen, zu erwarten. Im Folgenden werde ich einen darüber gemachten Versuch darlegen. Die Bohrlöcher I, II und III in der beigefügten Tabelle lagen übereinander in einer vertikalen Richtung, IV aber gleich hoch wie III, nur rechtwinklig querab von diesem. Alle Bohrlöcher wurden je mit einem gleichartigen Glashahn verschlossen, um den künstlichen mechanischen Widerstand möglichst gleich hoch zu halten. Danach habe ich die durch Öffnen oder Schließen der anderen Löcher beeinflußte Tropfenzahl des ersten Loches gemessen.

Bohrloch	Abstand über dem Boden	Jede 30 Sek. ausgeflossene Tropfenzahl			
		a	b	c	d
I	50 cm	56 Tropfen	38.5	47.5	59
II	100 „	verschlossen	geöffnet	verschl.	verschl.
III	150 „	„	verschl.	geöffnet	„
IV	150 „	„	„	verschl.	geöffnet

Daraus ist ersichtlich, daß das Öffnen oder Schließen der in vertikaler Richtung liegenden Löcher eine mehr oder weniger große, aber die gleichartige Behandlung der seitlich liegenden Löcher fast keine Beeinflussung der Zahl der aus dem I. Loch ausfließenden Tropfen ausübt.

Nun ist es mir erwünscht, den Druckwechsel an zwei entgegengesetzten (180° weit), etwa horizontal gelegten Bohrlöchern zu verfolgen. Daher habe ich im Jahre 1935 bei Baum I im Osten etwa 26 cm hoch über dem Boden und im Westen etwa 30 cm hoch über dem Boden gebohrt. Fig. 41 stellt die dort selbstregistrierten Kurven dar. Man bemerkt dort zunächst, daß der östliche Druck durchschnittlich etwa 2 cm höher als der westliche ist, was nicht auf die verschiedene Höhenlage, sondern auf die verschiedene Wurzeltätigkeit zurückzuführen ist.

Gegen den niederen Druck im Westen ist die Wechselweite, wie in der Figur klar gestellt, dort weit größer als im Osten. Die größere Wechselweite im Westen tritt nicht nur am Tage, sondern auch in der Nacht auf. Als Ursache der gesagten merkwürdigen Tatsache ist die üppigere Entwicklung der Zweige im Westen verglichen mit denen im Osten zu rechnen. Trotz der verschiedenen Weite des Druckwechsels an beiden Löchern wurde die zeitliche

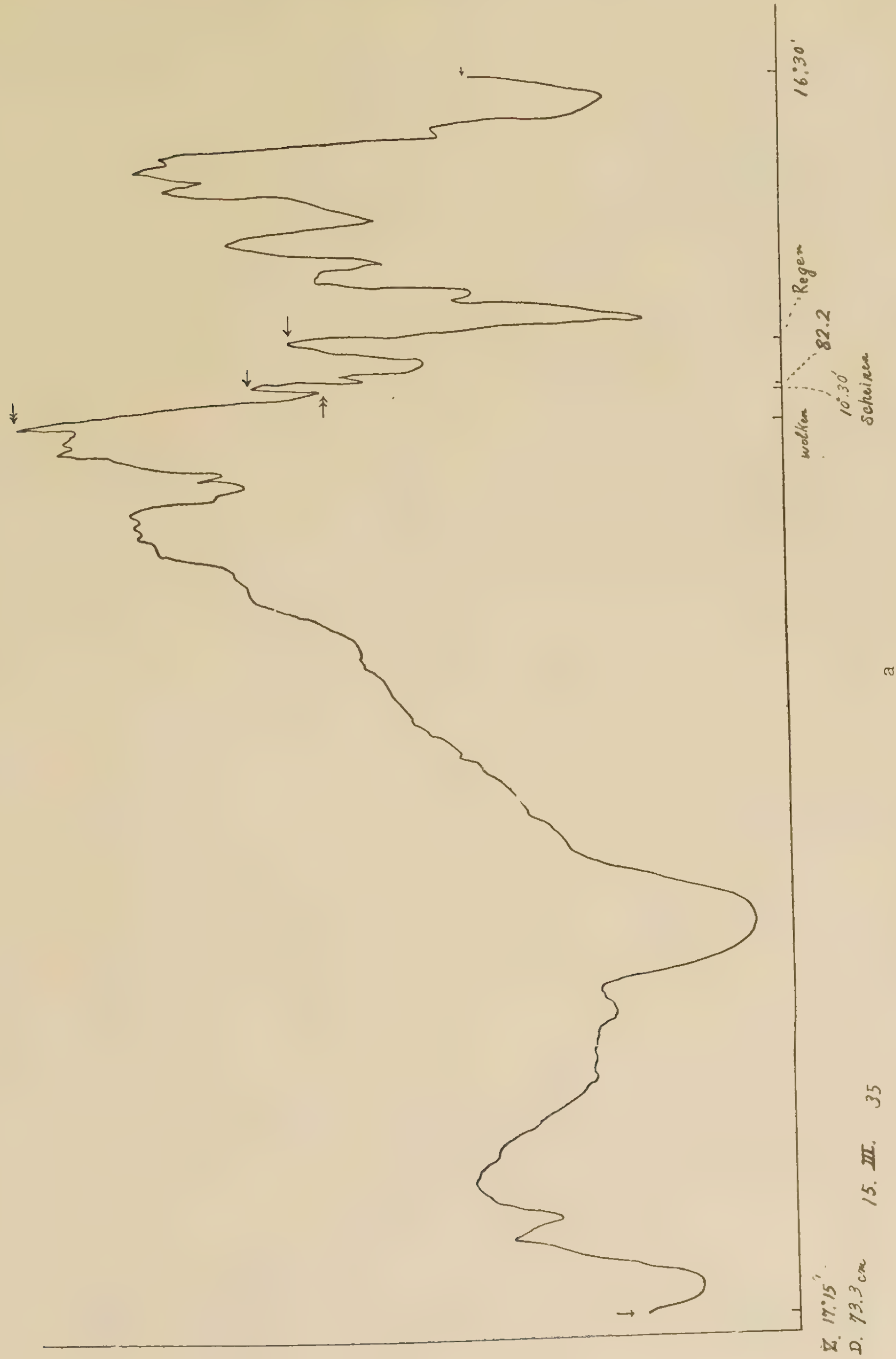


Fig. 41, a. Druckwechsel des östlich angesetzten Manometers, der fast gleich hoch über dem Boden, wie der westliche, stand.

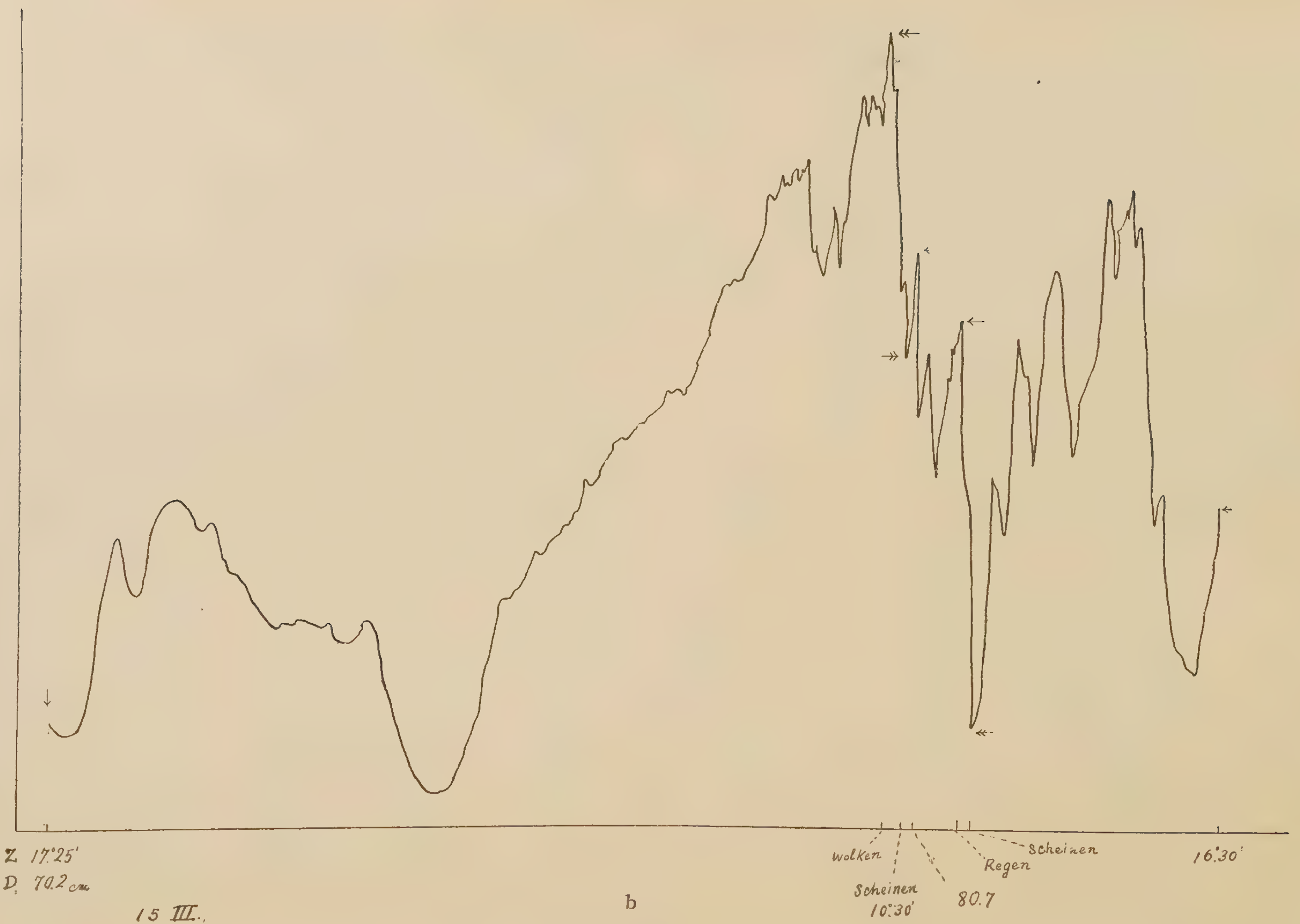


Fig. **41**, b. Druckwechsel des westlich angesetzten Manometers, der fast gleich hoch über dem Boden, wie der östliche, stand. (Erklärung im Text).

Übereinstimmung desselben immer beibehalten. Mithin können wir dort die Einwirkung ein und derselben Ursache annehmen. Die Sonnenbestrahlung, oder genauer gesagt, der Temperaturwechsel der oben stehenden Zweige und Äste ist ohne Zweifel dafür verantwortlich. Man beobachtet an schönen Vormittagen oft eine durch die Erwärmung des dicken Hauptstammes verursachte stärkere Druckveränderung im Osten als im Westen. Im großen und ganzen darf aber der Endteil des Baumes als der Entstehungsort des Druckwechsels betrachtet werden.

Nun haben wir uns der Aufgabe zuzuwenden, dem Temperaturwechsel der *Cornus*-Zweige und-Äste zu untersuchen.

Temperaturwechsel der *Cornus*-Stengel

Der Endteil einer etwa 7 jährigen Topfkultur wurde abgeschnitten und in der Mitte der Wundfläche[1] wurde ein tiefes nach unten gerichtetes Loch gebohrt, sodaß der etwa 1 cm dicke Wandteil darum stehen geblieben war. Der darin eingeführte Thermometer zeigte durch Bestrahlung des Stengels den folgenden Temperaturwechsel.

Zeit	B–T	L–T	Baumt.	Baumt–L–T	Bemerkung
13^{47}	7.2 °C	15.8 °C	15.0 °C	−0.8	
14^{00}	7.3 „	14.0 „	15.1 „	1.1	Im Laboratorium gestanden.
14^{30}	7.3 „	12.5 „	15.0 „	2.5	„
15^{00}	8.5 „	12.0 „	15.2 „	3.5	Durch die Sonne bestrahlt.
15^{30}	9.0 „	12.5 „	16.5 „	4.0	„
16^{00}	10.0 „	12.0 „	17.0 „	5.0	Um 16^{20} trüb.
16^{50}	11.0 „	11.8 „	16.0 „	4.2	Trüb.
17^{00}	11.5 „	11.5 „	14.5 „	3.0	Dunkel.
17^{30}	12.0 „	11.10 „	12.0 „	1.0	„
18^{00}	11.5 „	11.20 „	11.2 „	0.	

Aus den oben erhaltenen Resultaten wissen wir, daß ein ziemlich großer Stengel durch Bestrahlung einen Temperaturaufstieg um 1.8 °C innerhalb etwa einer Stunde, und durch Beschattung weit plötzlicheren Temperaturabstieg aufweist.

Weitere Versuche wurden thermoelektrisch ausgeführt. Dabei kamen drei je aus Kupfer und Konstantan hergestellten Thermoelemente in Anwendung, und zwar wurde eine als Kontrolle in eine Dewarflasche, eine andere an die

1) Der Umfang des Stengels betrug hier etwa 10.5 cm.

Probe, und die letztere für die Messung der Lufttemperatur in der Luft nah zu der Probe gestellt.

Durch Kalibrieren der Elemente wurde sicher gestellt, daß der Galvanometerschlag von 0.77 cm dem Temperaturwechsel von 1 °C entspricht.

Als Probe wurde ein zweijähriges etwa 15 cm langes Stengelstück ausgewählt, dessen beide Schnittflächen mit Vaseline angestichen wurden. Die Probe stand hinter einer Spalte, die an der Wand eines Pappkastens so hergestellt war, daß dieselbe zur Probe gut paßt.

Nun wurde die Probe durch einer elektrischen Lampe von 100 Watt aus der Entfernung von 30 cm bestrahlt. Dabei wurde natürlich das der Probe fest angedrückte Thermoelement an die der Lichtquelle entgegengesetzte Seite gestellt. Der dadurch erhaltene Temperaturwechsel des angewendeten Stengels war folgendermaßen.

Versuchsdauer: 15^{00}–16^{00} Uhr, 14. Okt.

Zeitverlauf[1]	Lufttemp.	Asttemp.	Bemerkungen
0	16.35 cm[2]	16.70 cm[2]	Erhitzung beginnt.
2′20″		17.00 „	
3′20″		17.30 „	
5′00″		17.90 „	
6′00″	16.35 „	18.10 „	
7′00″		18.20 „	
8′00″		18.45 „	
9′00″		18.80 „	Blasen durch Motor-Fächer beginnt.
11′00″		18.60 „	
13′00″		18.60 „	
15′00″		18.60 „	
16′00″	16.50 „	18.80 „	Light ausgemacht. Abkühlung in der Luft.
0		18.80–19.00 „	Temperatur - Schwankung sogleich nach der Abkühlung.
1′30″		18.60 „	
2′30″		18.40 „	
3′00″		18.30 „	
4′00″		18.10–18.20 „	T–Schwankung.

1) Durch eine Stoppuhr abgelesen. 2′20″ bedeutet 2 Minuten 20 Sekunden, u. s. w.
2) Cm bedeutet den Galvanometerausschlag.

Zeitverlauf	Lufttemp.	Asttemp.	Bemerkungen
5′00″		18.00 cm	
6′00″		17.80–17.70 „	T–Schwankung.
7′00″		17.60–17.70 „	„
8′00″	16.25 cm	17.40–17.50 „	„
15′00″	16.10 „	16.75 „	

Aus diesen Resultaten geht hervor, daß ein *Cornus*-Ast durch 16 Minuten lange Bestrahlung um ca 3 °C wärmer als zuvor wird, und durch ebenso lange Ausstrahlung in der Luft bis zur ursprünglichen Temperatur, die fast gleich der Lufttemperatur ist, abgekühlt wird. Daraus ersehen wir eine viel bessere Einstrahlung und Ausstrahlung eines Astes als diejenige eines etwas dickeren Zweiges, wovon schon im III, C, die Rede war. Es wurde schon von mehreren Forschern darauf hingewiesen,[1] daß ein rot oder schwarz gefärbtes Pflanzenorgan durch Sonnenbestrahlung besser als anders gefärbte erwärmt wird, was wohl die gute Einstrahlung der purpur gefärbten *Cornus*-Äste vermuten lässt.

Der obige Versuch lehrt uns weiter, daß die mit der Wärmeeinstrahlung parallel ausgeführte Abkühlung einen geringen, aber deutlichen Einfluß auf den Temperaturwechsel des Astes ausüben kann, und daß die Asttemperatur sogleich nach dem Stillstand der Bestrahlung pulsierend absteigt. Daraus können wir dort auch einen pulsierenden Druckwechsel erwarten, wie wir ihn öfters in den im III, c durchgeführten Versuchen trafen. Es ist aber ohne weiteres sicher, daß der weit größere Einfluß der Bestrahlung und Beschattung, die im Freien vorübergehend abwechselnd vorkommen, die genannte pulsierende Druckveränderung fast unmerklich macht.

Zusammenfassend können wir schließen, daß die vorübergehende Temperaturänderung der Äste und Zweige die hauptsächliche Ursache des schwankenden Blutungsdruckwechsels ausmacht. Da die großen Zweige oder der Hauptstamm mit einer dicken Borke verhüllt sind, so zeigen sie unmerkliche plötzliche Temperaturveränderung,[2] der wohl auch ein unmerklicher Druckwechsel entsprechen könnte. Man kann aber dort eine langsame Temperatur- und die derselben entsprechende Druckveränderung erwarten.

1) Vergl. K. M., WIEGAND. Some studies regarding the biology of buds and twigs in winter, Bot. Gaz. 41, 1906.

2) Vergl. S. 174 vorliegender Arbeit.

VIII. Plötzliche Blutungsdruckabnahme und ihre Ursache

Unter einer plötzlichen Blutungsdruckabnahme verstehe ich die Erscheinung, wo der Blutungsdruck auf einmal eine große Strecke weit, ohne eine bestimmte Grenze aufzuweisen, steil abwärts geht.

Nach mehrjährigen Untersuchungen konnte ich die drei folgenden Fälle der plötzlichen Druckabnahme unterscheiden.

I. Abendliche plötzliche Druckabnahme.

Diese findet am Abend eines schönen, besonders windigen Tages statt. Der Druck geht da oft auf einmal etwa 20 cm in 15 Minuten abwärts. Vergl. Fig. 37.

II. Plötzliche durch Wolken, oder vorübergehenden Regen verursachte Druckabnahme.

Wenn ein vorher durch die Sonnenbestrahlung stark erwärmter Baum plötzlich durch eine große Wolken bedeckt wird, so geht der Blutungsdruck rasch abwärts. So fand um 10^{15}, am 19. März 1935 eine plötzliche Druckabnahme um 11.5 cm in 10 Minuten statt.

Der vorübergehende Regen[1] ruft auch eine merkwürdigere Druckabnahme hervor. So fand ich um 11^{00} am 19. März 1929 eine dadurch hervorgebrachte plötzliche Druckabnahme um 21 cm.

III. Frühmorgendliche plötzliche Druckabnahme.

Auf diese Druckabnahme wurde schon von Prof. M. Miyoshi[2] aufmerksam gemacht, und mit dem Namen von „ungewöhnlicher Abnahme“ bezeichnet.

Nach meinen eigenen Untersuchungen ist sog. ungewöhnliche Druckabnahme von den zwei ersteren nicht durch die Absteigungsweite, sondern nur durch die Auftrittszeiten unterscheidbar. Sie kommt, wie später genauer erwähnt, am frühen Morgen, also 6–7 Uhr vor.

Absolute Weite der plötzlichen Druckabnahme steht, wovon später wieder die Rede sein wird, mit dem Durchmesser des Manometers im innigsten Zusammenhang, was frühere Forscher gänzlich unbeachtet ließen.

Prof. Miyoshi fand die vorliegende Erscheinung nur vier mal im Laufe von neun Jahren, 1900–1909. Es ist aber eine an Frostmorgen gewöhnliche

1) Es wurde schon von mehreren Forschern konstatiert, daß Regen in den meisten Fällen eine tiefere Temperatur als die Luft aufweist. Vergl. Hann-Süring, Meteorologie, l. c.

2) Ber. d. deutsch. bot. Ges. 1909.

Erscheinung, sodaß man sie an kalten Märztagen öfters treffen kann. Ich konnte dieselbe Erscheinung jedes Jahr 1–2 mal finden. Nur im milden März des Jahres 1935 konnte ich trotz der fortdauernden Messungen keine solche Erscheinung wahrnehmen.

Anfangszeit und Wechselweise der ungewöhnlichen Druckabnahme

Es gelang mir bis jetzt im ganzen neunmal die betreffende Druckabnahme selbstregistrieren zu lassen. Da der Druck manchmal eine enorme Strecke weit plötzlich abwärts geht, so ist es schwer eine volle Kurve zu erhalten. Nach mühevoller Arbeit gelang es mir aber vier volle Kurven betreffs der ungewöhnlichen Abnahme zu gewinnen. Zwei derselben habe ich schon in Fig. 7 und 33 angegeben.

Im folgenden werde ich zunächst die Anfangszeit und Druckweite der erwähnten Erscheinung neben dem dabei herrschenden Wetter anführen.

Tabelle V.

Cornus-	Zeit		Anfangs-		Minimum-		Wetter
Baum I	Jahr	Datum	Druck	Zeit	Druck	Zeit	Am frühen Morgen
„	1927	17. (März)	77.0 cm	6^{00}	45.0 cm	7^{30}	Frostig
„ ○	„	28. „	139.0 „	6^{00}			„
„	1928	24. „	121.9 „	6^{00}			„
„	1931	16. „	76.2 „	6^{00}			„
„ *	1933	23. „	103.3 „	7^{00}	92.2 „	7^{20}	Warm, regnerisch
„ ⦿	1934	23. „	64.0 „	6^{30}	46.6 „	7^{00}	Frostig
„ ○	„	30. „	101.5 „	5^{30}			„
Baum III	1932	18. „	28.5 „	6^{30}	16.6 „	6^{55}	„
	„	21. „	58.9 „	7^{00}			„

○…… Anfangsdruck macht das Jahresmaximum.

⦿…… Nur dieser Fall bezieht sich auf den Druck eines 3.8 m hoch über dem Boden gestandenen Manometers, in allen anderen Fällen um den am Grund des Baumes gestandenen Manometer.

* …… Nur dieser Fall entspricht mildem Wetter.

Aus der Tabelle sehen wir, daß die ungewöhnliche Blutungsdruckabnahme zwischen 5^{30}–7^{00} Uhr, meistens aber um 6 Uhr anfängt und sich nach 20–90 Minuten minimaler Druck zeigt. Trotz der stark veränderlichen Auftrittszeit des Anfangs- und Minimumdruckes kann man sagen, daß dieselbe Erscheinung unter dem Abschluß der Sonnenbestrahlung anfängt und endigt. Um die Auftrittszeit des Minimumdruckes geht die Sonne schon über dem Horizont auf, wobei sie aber infolge der Beschattung der Gebäude und anderen Bäume fast keine Erwärmung des Baumes ausübt.

Um die Anfangszeit der ungewöhnlichen Abnahme ist die Abstiegsgeschwindigkeit kleiner als 0.4 cm pro 1 Minute, später aber weit größer, manchmal 1 cm pro 1 Minute.

Nach dem Ablauf des Minimumdruckes geht der Druck plötzlich aufwärts mit einer großen Geschwindigkeit, die jedoch etwas geringer als die des Abstiegs ist. So entsteht dort eine unsymmetrische V-förmige Kurve. (vergl. Fig. 42). Sehr oft entwickelt sich ein kleiner Höcker am Fuß des V-förmigen Tals, so daß eine etwas unregelmässige Form zustande kommt. (vergl. Fig. 7). Die genannte große Aufstiegsgeschwindigkeit weist darauf hin, daß es sich bei der ungewöhnlichen Abnahme nicht um eine volle, sondern vielmehr um eine partielle Hemmung der Druckursachen handelt. Also wirkt mit dem Stillstand jener Hemmung doch die übrig bleibende Druckursache, sodaß die Erholung schnell vor sich gehen kann.

Im Laufe der Druckerholung ist aber die Mitwirkung der Sonnenbestrahlung schon möglich, weil zu dieser Zeit die Sonne hoch steht. Am Ende der Druckerholung ist dieselbe dadurch besonders deutlich, daß die an schönen Tagen normale Druckschwankung da vor sich geht.

Nach der Druckerholung kommt es zu einem anderen Druckmaximum, das höher oder tiefer als der Anfangsdruck der ungewöhnlichen Abnahme liegt.

Ein tieferes Druckmaximum kam unter den zwei folgenden Bedingungen vor.

1. Durch geringe Einwirkung der Sonnenbestrahlung. Dieser Fall geschieht nicht nur durch die Bewölkung, sondern auch infolge der Beschattung durch andere Bäume. vergl. Fig. 7.
2. Durch eine infolge Knospenentfaltung geförderte Transpiration sowie eine pathologische Erscheinung, nämlich durch die Mitbeteiligung des Jahresmaximums. Vergl. Fig. 44.

Ein höheres Druckmaximum erscheint, wenn die Einwirkung der Sonnenbestrahlung stark ausgeprägt ist. Wir fanden da auch zwei Fälle.

So fand einmal das Hauptmaximum am Ende des plötzlichen Druckaufstiegs (vergl. Fig. 33), ein anderes Mal etwas später (vergl. Fig. 42) statt.

Zusammenfassend kann man nun sagen, daß die Druckerholung durch starke Bestrahlung gefördert, und durch Bewölkung, Beschattung, sowie durch das vergangene Jahresmaximum retardiert wird.

Die Ursache der plötzlichen Druckabnahme

Schon im Kapitel V, f, habe ich gesagt, daß eine energische Wärmeausstrahlung die Ursache der abendlichen plötzlichen Druckabnahme ist.

Nach den im V, d und V, e erörterten Beobachtungen und Versuchen unterliegt es auch keinem Zweifel, daß Bewölkung und Regen durch Abkühlung einen ansehnlichen Druckabfall hervorrufen.

Dadurch wird uns also ohne weiters verständlich, daß die plötzliche Druckabnahme des ersten und zweiten Falls aus einer gleichen Ursache vor sich geht. So ist es ganz natürlich, eine gleiche Ursache für die ungewöhnliche Druckabnahme von vornherein zu erwarten.

Im folgenden werde ich nun prüfen, ob meine Vermutung bestätigt wird oder nicht.

Schon in der Tabelle auf Seite 171 haben wir gesehen, daß 8 von 9 maligen ungewöhnlichen Druckabnahmen an Frostmorgen um 6 Uhr stattfanden. Nun sind wir berechtigt anzunehmen, daß anfangs Äste, später aber auch ziemlich große Zweige durch Frost, oder durch die zu dieser Zeit herrschende tiefe Lufttemperatur so stark abgekühlt werden, daß dadurch die ungewöhnliche Abnahme vor sich geht. Man kann aber die Beteiligung eines großen Zweiges oder Hauptstammes an der ungewöhnliche Druckabnahme kaum annehmen, weil die beinah konstante Temperatur des Holzes dort wahrnehmbar ist. Die folgenden am Grunde des Baumes I die Nacht des 16. März 1931 hindurch ausgeführten Temperaturmessungen beweisen zur Genüge das eben Gesagten. Für die Temperaturmessung wurde ein bis 1/5 °C genau ablesbarer Thermometer einige Centimeter tief ins Holz eingeführt.

Tabelle VI.

Zeit	Druck des Grundes	D. 97 cm oben	Holztemp. des Baumgrundes
5^{00}	76.20 cm	64.80 cm	5.00 °C
6^{00}	72.10 „	60.40 „	4.89 „
7^{13}	51.75 „	39.00 „	4.86 „
7^{18}	51.95 „	40.10 „	4.86 „
7^{23}	53.00 „	41.45 „	4.85 „
7^{28}	54.85 „	43.50 „	
7^{33}	57.35 „	46.45 „	4.85 „
7^{38}	60.40 „	49.80 „	4.86 „
7^{43}	64.25 „	53.05 „	4.86 „
7^{48}	67.30 „	56.70 „	4.86 „
7^{53}	70.40 „	59.90 „	
7^{58}	73.05 „	62.20 „	4.86 „
8^{30}	78.70 „	67.05 „	4.86 „

Nun möchte ich wissen, welche Lufttemperatur während oder vor der ungewöhnlichen Druckabnahme herrscht. Der Genauigkeit halber entnehme ich dieselbe den Messungen des meteorologischen Zentralobservatoriums.

Tabelle VII.

Zeit		L–T um Uhr					L–T des vorigen Tages	
Jahr	Datum	4	5	5–6	6	8	Min.	Max.
1927	17. März		0.2	−1.1	−0.6		2.0	6.5
„	28.		−0.3	−1.3	1.5		2.5	9.0
1928	24.	0	−0.2	——	−0.8		3.5	11.6
1931	16.	1.1	0.6	——	0.4		0.5	12.4
1932	18.	1.0	0.3	——	0.5		0.7	9.1
„	21.	−0.9	−1.3	——	−1.5		0.6	11.6
1933	23.*	10.3	10.9	——	11.0	8.5	2.7	12.5
1934	23.	−0.6	−0.4	——	−1.2		2.5	10.6
„	30.	−0.3	−1.2	——	−1.5		0.8	3.7

* Ein besonder Fall der ungewöhnlichen Druckabnahme, worauf ich später wieder zurückkommen werde.

Aus der obigen Tabelle ersieht man, daß um die Zeit der ungewöhnlichen Druckabnahme, allein den Fall im Jahre 1933 ausgenommen, meistens Minus-, selten aber sehr tiefe Lufttemperatur herrscht. Da die hier angegebene Temperatur immer 1 m hoch über dem Boden gemessen wurde, so können wir an höheren Stellen immer Minus- Temperatur erwarten.

Nun fragt es sich, ob Minus- Lufttemperatur immer die ungewöhnliche Druckabnahme begleitet. Das trifft aber immer nicht zu. Als eine andere Vorbedingung derselben Erscheinung muß man noch ein gewisses Blutungsstadium mitrechnen. So konnte ich im früheren Blutungsstadium, also am Frostmorgen des 9,[1] 10. und 11. März 1934 keine ungewöhnliche Druckabnahme wahrnehmen. Zu dieser Zeit war der Blutungsdruck noch nicht groß, bei Baum I immer kleiner als 20 cm, sodaß sich der nächtliche Druckwechsel dem Lufttemperaturverlauf nachfolgend bewegte. Es ist also auch ein voll großer Druck benötigt, um eine ungewöhnliche Druckabnahme hervorzurufen. Soweit meine bisherigen Beobachtungen reichen, war bei Baum I ein 76 cm, bei Baum III ein 28 cm Druck übersteigender erforderlich, um eine ungewöhnliche Druckabnahme mit sich zu bringen.

Als eine weitere Vorbedingung der ungewöhnlichen Abnahme sollte man die vorangehende tiefe Lufttemperatur rechnen. An einem warmen Tage des März steigt die Lufttemperatur manchmal über 15–20 °C. Am vorhergehenden Tage der ungewöhnlichen Druckabnahme steigt, wie die Tabelle es klar stellt, dieselbe nicht über 13 °C. Außerdem sieht man eine tiefe minimale Lufttemperatur sowohl an demselben, als auch an vorigem Tage. Anders gesagt, herrschte eine tiefe Lufttemperatur während der vorangehenden 24 Stunden.

Schon im Kapitel III, 2 habe ich die Mitteilung gemacht, daß eine durchschnittliche tiefe Lufttemperatur der varangehenden 24 Stunden eine größere Druckzunahme um 6 Uhr hervorruft. Man beobachtet immer kurz vor der ungewöhnlichen Druckabnahme eine kurzdauernde, aber enorme Druckzunahme. (vergl. Fig. 7 und 44), die sich wohl als ein Anzeichen der Wirkung der vorangenenden tiefen Lufttemperatur deuten läßt. Es ist nicht zu leugnen, daß die so vorangehende enorme Druckzunahme die darauffolgende ungewöhnliche Abnahme fördert.

Es wird nun die oberflächlich wie ein Ausnahmsfall erscheinende, also an

1) Um 6 Uhr desselben Tages ging der Druck auf einmal etwa 10 cm abwärts, aber die Abfallsgeschwindigkeit war nicht groß, so daß eine scheinbare ungewöhnliche Druckabnahme da vorlag. (vergl. Fig. 4)

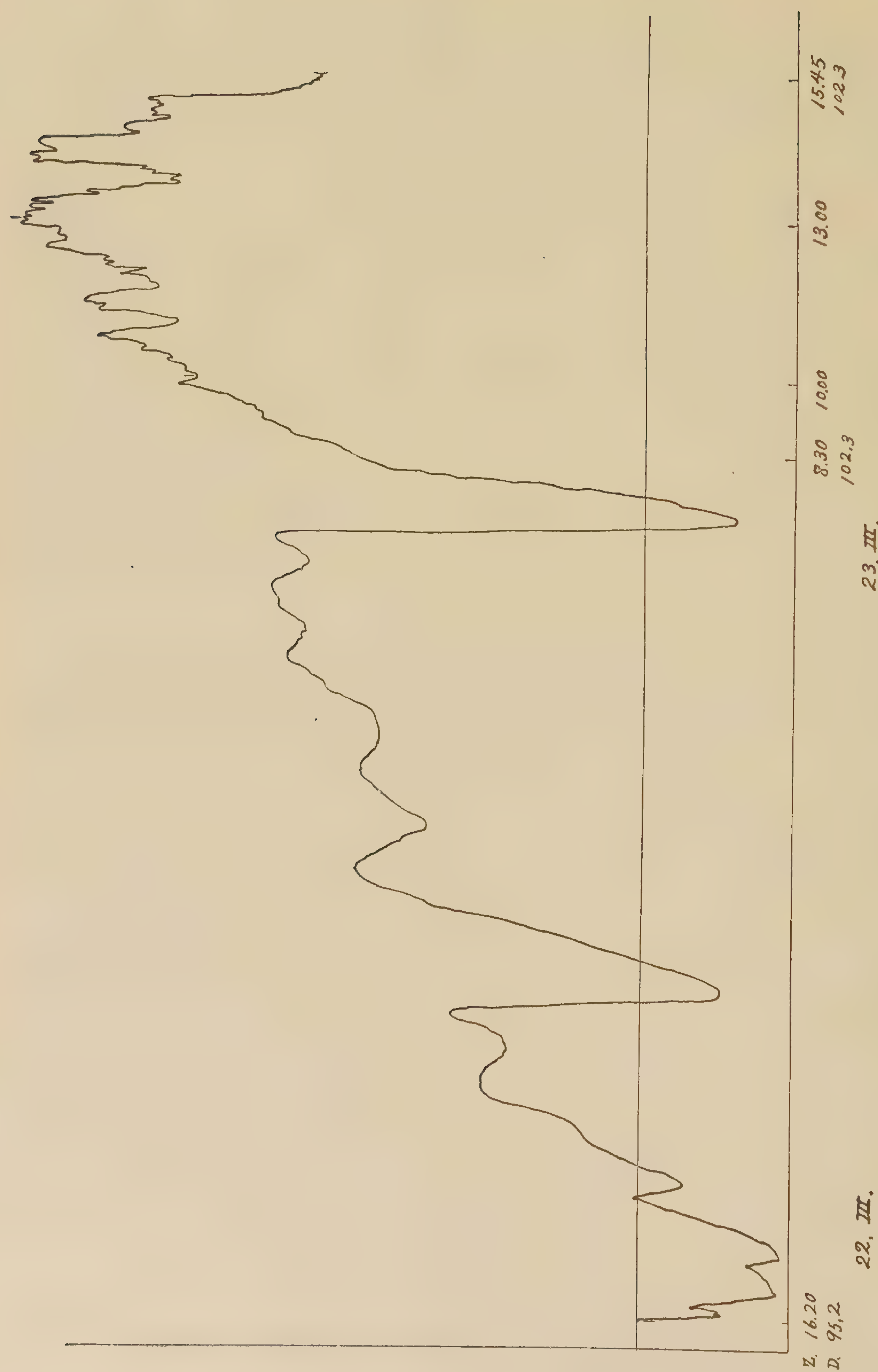


Fig. 42. Ungewöhnliche Druckabnahme an einem etwas warmen, wenig regnerischen Morgen.

einem warmen Morgen vor sich gehende ungewöhnliche Abnahme diskutiert werden.

Zunächst lasse ich das dieser ungewöhnlichen Abnahme entsprechende Wetter folgen.

In der Nacht des 22. März 1933 begann es um 21^{45} Uhr zu regnen. Der zu derselben Zeit etwa um 7 cm plötzlich abgefallene Druck deutet auf die entsprechende Abkühlung hin (Sieh Fig. 42). Dieser Abfall ist nichts anderes als ein Fall der II ten plötzlichen Abnahme. Von 6 bis 7 Uhr des nächsten Tages trat nun eine andere plötzliche, also ungewöhnliche Abnahme auf. Damals herrschte eine Lufttemperatur von 11–8.5 °C, die zu hoch ist, eine Abkühlung des Baumes hervorzurufen. Die gleichzeitigen Regenmengen waren aber stark schwankend.

Uhr	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7
Regenmenge in mm	0.1	0.4	0.4	0.2	1.4

Demnach war es von 5 bis 6 Uhr weniger, aber von 6 bis 7 Uhr viel mehr regnerisch. Nun unterliegt es keinem Zweifel, daß eine plötzlich zunehmende Regenmenge die Abkühlung des Baumes und dadurch die ungewöhnliche Druckabnahme verursachte.

Also gehört die vorliegende ungewöhnliche Abnahme mehr zu einem besonderen Fall der II ten plötzlichen Druckabnahme.

Auf Grund der bisher erhaltenen Resultate möchte ich nachprüfen, ob meine Vermutung auch die von Prof. MIYOSHI[1] beobachteten viermaligen ungewöhnlichen Druckabnahmen betrifft. Zunächst werde ich die damals von demselben Autor erhaltenen Blutungsdrucke und die neuerdings von mir gesuchte Lufttemperatur derselben Zeiten erwähnen.

Tabelle VIII.

Jahr	Datum	Anfangs-		Min.		Min. L–T um 5-6 Uhr	
		Druck	Uhr	Druck	Uhr	Takebashi[2]	Nishigahara[3]
* 1900 (Meiji 33)	29. März	109 cm	6^{00}	−4.0 cm	7^{30}	−0.6 °C	
1908 („ 41)	19. „	98 „	6^{00}	−7.0 „	7^{54}	5.2 „	3.0 °C
„	20. „	104.1 „	5^{30}	−9.9 „	8^{38}	4.8 „	5.7 „
* 1909 („ 42)	27. „	150.0 „	6^{02}	17.2 „	8^{00}	−0.3 „	−1.0 „

* Hier entspricht der Anfangsdruck dem Jahresmaximum.

1) Handbuch der Botanik (Japanisch).
2) Ort des damaligen meteorolog. Zentralobservatoriums.
3) Ort der landwirtschaftlichen Zentral-Versuchsstation.

Aus der Tabelle sieht man, daß der Fall der Jahre 1900 und 1909 mit meiner Vermutung gänzlich übereinstimmt, in den zwei anderen Fällen aber nicht. Die beiden letzten Fälle ließen mich lange Zeit zögern, über die vorliegende Erscheinung den Schluß abzugeben.

Als ich aber die durch die Abkühlung des Regens hervorgerufene ungewöhnliche Druckabnahme kennen lernte, kam mir absbald der Gedanke, nachzuforschen, ob es damals regnete.

Nach der Einsicht in eine alte Registrierung des schon öfters genannten meteorologischen Observatoriums wußte ich glücklicherweise, daß jene beiden Tage regnerisch waren. Und zwar war es fünf Tage lang, dauernd vor und nach denselben Tagen regnerisch.

Die Regenmenge jedes Tages war die folgende:

Datum (März, 1908)	17	18	19	20	21
Regenmenge (mm)	0.4	15.7	1.9	2.8	0.0 (Spur)

Nach einer geringen Regenmenge des 19. und 20. dürfen wir annehmen, daß es an den beiden Tagen vorübergehend mehrere Male wenig regnete, oder eine Zeit lang unmerklich, zu anderer Zeit etwas merklicher regnete. Wenn es also um 5^{30} oder 6 Uhr wieder, oder in einer merklicheren Weise als zuvor, zu regnen begann, so könnte eine ungewöhnliche Druckabnahme, wie wir am 23. März 1933 gesehen haben, in die Erscheinung treten.

Nun ist es ohne weiteres klar, daß die ungewöhnliche Abnahme auf eine einheitliche Ursache, nämlich auf eine Abkühlung des Baumes, gleichgültig, ob sie durch Regen oder durch tiefe Lufttemperatur verursacht wird, zurückzuführen ist.

Ich habe schon im C_{10}—Versuche gesehen, daß ein an Länge etwa 32 cm und an Durchmesser 3 cm messendes Zweigstück durch die Abkühlung mit Eiswasser, dessen Temperatur von 10–5 °C abwechselte, einen Druckabfall um 2.3 cm hervorrief. Da der Durchmesser unseres Manometers 8 mm beträgt, so entspricht der Druckabfall von 2.3 cm einer Volumabname um etwa 1 ccm. Dies bedeutet also, daß die betreffende Abkühlung des Baumes eine Absorption des Wassers um 1 ccm hervorruft. Sei nun eine ungewöhnliche Druckabnahme um 50 cm angenommen, so entsteht dabei eine Wasserabsorption von 22 ccm. Wenn also fünfundzwanzig Zweige, die je das gleiche Volumen, wie das oben genannte Zweigstück besitzen, je 1 ccm Wasser absorbieren, so könnte eine große ungewöhnliche Druckabnahme um 58 cm zustande kommen. Da eine größere Anzahl der Zweige bei einem großen Baum, wie z. B. Baum I mit Recht erwartet wird, so unterliegt unsere Vermutung keinem Zweifel.

Man muß also nicht nur auf die Druck-, sondern auch über die Volumveränderung achtgeben, um eine ungewöhnliche Druckabnahme zu charakterisieren. Wenn der Durchmesser eines Manometers 4 mm beträgt, so muß, ein und dieselbe ungewöhnliche Abnahme angenommen, eine Druckabnahme um 200 cm eintreten. Die von Prof. MIYOSHI gefundene große ungewöhnliche Abnahme beruht sehr wahrscheinlich auf dem entsprechenden kleinen Durchmesser des damals üblichen Manometers.

Nun kann ich nicht mit PRIESTLEY[1] die von diesem Autor geäußerte Ansicht teilen, nach welcher eine ungewöhnliche Druckabnahme durch das Diosmieren des Saftes in die Interzellularen verursacht wird. Nach dieser Theorie ist es ganz unmöglich, die energische nach dem Verlauf des Druckminimums vor sich gehende Erholung zu erklären. Gegen dieselbe Theorie steht auch die Tatsache, daß der minimale Druck nicht immer unter Null sinkt. Sicherlich ist das absolute Maß der ungewöhnlichen Druckabnahme von verschiedenen Abkühlungsgraden abhängig, also innerhalb ziemlich großer Weiten veränderlich.

IX. Entstehung des Jahresmaximums und das diese Erscheinung begleitende Verlorengehen der Druckschwankung

Schon im V, 6 habe ich die Mitteilung dargetan, daß der osmotische Außendruck der Wurzel etwa mit dem Jahresdruckmaximum zusammenfällt. Daraus scheint es also sehr wahrscheinlich, als ob der erstere das Vorkommen des letzteren bestimmt.

Weiter bei den Versuchen im V, e haben wir kennen gelernt, daß ein belaubter *Cornus*-Baum durch geförderte Transpiration einen scheinbaren negativen Druck aufweist. Es ist nicht notwendig, eine nennenswerte Abnahme sowohl des Wurzel- als auch des Stengelaußendruckes dabei zu erwarten, weil die Druckerholung durch die Beseitignng, oder die Verhüllung der Blätter schnell vor sich geht.

Um die Auftrittszeit des Jahresdruckmaximums im Freien sieht man ein beginnendes Ausbrechen der Jugendblätter aus den Knospenschuppen (vergl. Fig. 43), so daß man schon auf eine fortgeschrittene Transpiration schließen kann. Auf dieselbe Transpirationserhöhung kann man aber kaum als den Faktor, der das Jahresmaximum bestimmt, Gewicht legen, weil das Ausbrechen der Knospen verschiedenzeitig und langsam ist.

1) l. c.

Erinnert man sich aber hier daran, daß der Anfangsdruck der ungewöhnlichen Abnahme manchmal mit dem Jahresdruckmaximum zusammenfällt, so kann man leicht irgend eine Beziehung zwischen beiden annehmen. Zwar geht



Fig. **43.** Entwicklungszustand der Knospen zur Zeit des Jahresdruckmaximums.

unmittelbar nach dem Ablauf eines derartigen Jahresmaximums die pulsatorische Druckschwankung gänzlich verloren, während im Fall des anderen Jahres-

maximums eine spärliche pulsatorische Druckschwankung noch einige Tage sichtbar ist. Aus diesen Tatsachen ergibt sich also, daß das Verlorengehen der Druckpulsation nicht durch die Transpirationserhöhung, sondern durch die ungewöhnliche Druckabnahme veranlaßt wird. (vergl. Fig. 44)

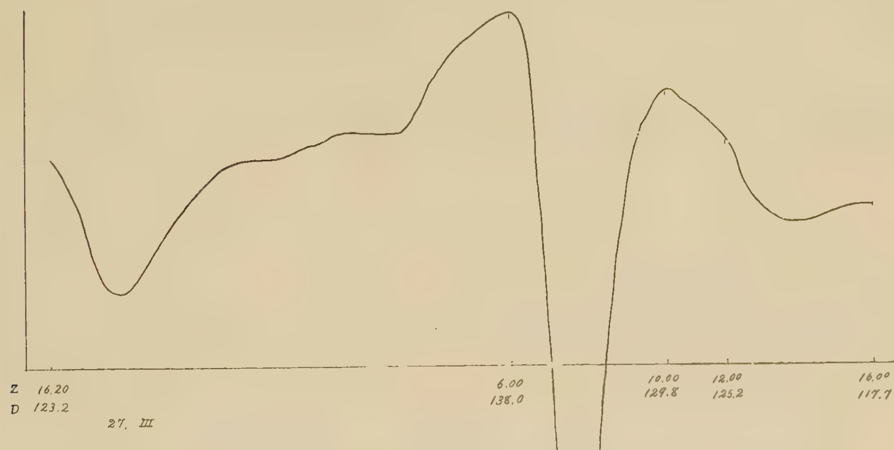


Fig. **44.** Verlorengehen der pulsatorischen Druckschwankung nach dem Erscheinen des Jahresmaximums, das sich auch auf der Kurve klar darstellt.

Was für eine Ursache bei der zuletzt genannten Erscheinung vorliegt, ist nicht leicht erklärbar. Aus verschiedenen Gründen kam ich aber zum Schlusse, daß es sich dabei um eine pathologische Erscheinung handelt.

Man trifft immer, wie schon von früheren Forschern bemerkt wurde, bei einem alten Bohrloch auf die Beobachtung, daß die Blutungsmenge sehr gering wird. Genauer gesagt, wird dieselbe zuerst jeden Tag größer, und nach Verlauf eines Maximums immer kleiner. So habe ich im März 1936 die folgenden Resultate bei Baum I erhalten.

Datum	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Saftmenge pro 1 St.	220	250	280	288	350	295	263	257	230	170	139	123	105	98	100	88 ccm
Druck gleich vor Saftentnahme	30.3	36.5	38.9	38.3	44.1	45.5	44.8	52.3	56.0	55.4	66.3	69.0	69.7	77.0	85.8	91.8 cm

Aus der Tabelle ersieht man also, daß die Blutungsmenge etwa parallel mit dem Blutungsdruck verläuft, bis sie ein Maximum erreicht, später aber immer geringer wird, trotzdem der Blutungsdruck weiter zunimmt. Theoretisch betrachtet, sollte die Ausflußmenge parallel mit dem Blutungsdruck gehen. Es sei hier die schon erwähnte Formel, $v = \frac{Du\text{-}Do}{kh}$ zitiert.

Bei freier Blutung an *Do* wird *Du-Do* sehr groß, weil die Druckabnahme der dem Bohrloch anliegenden Gewebe in einem höheren Grade *Do* kleiner macht als *Du*.

Da die Ausflußmenge m als gleich mit qv, wo q den mittleren Querschnitt der Gefäße zeigend, angesehen werden kann, so

$$m = q\ \ v = q\ \frac{Du\text{-}Do}{hk}.$$

Setzt man $k = \frac{c\eta}{q}$ (vergl. die Formel auf der Seite 160)

$$m = \frac{q^2(Du\text{-}Do)}{h\eta c}.$$

Diese Formel beweist die Aussage, daß die Ausflußmenge proportionell mit dem Blutungsdruck geht.

Da die gewonnene Formel aber einer bekannten Poiseilleschen entspricht, so kann man beide gleich setzen.

Nun

$$\frac{q^2(Du\text{-}Do)}{\eta h.\, 8\pi} = \frac{q^2(Du\text{-}Do)}{h\eta C}, \qquad C = 8\pi.$$

Nach dem oben Gesagten, wird es also verständlich, daß die Ausflußmenge jeden Tag bis auf ihr Maximum zunimmt, weil der Blutungsdruck dazu parallel geht.

Die obige Formel scheint auch für den tagesperiodischen Wechsel der Ausflußmenge gültig zu sein, weil ich da eine dem Blutungsdruckwechsel etwa parallel gehende Ausflußmenge wahrnehmen konnte.

Für das Selbstregistrieren der Ausflußmenge bediente ich mich eines Schwimmers, dessen Bewegung mittelst einer Baranetzkyschen Kontaktuhr als Treppenkurve aufgezeichnet wurde. Die beigefügte Fig. 45 zeigt, daß die Ausflußmenge in ähnlicher Weise wie der Blutungsdruck des entsprechenden Stadiums wechselt, und zwar ein Maximum wie beim letzteren um 10 Uhr in die Erscheinung trat.

Was nun die nach dem Erscheinen des Maximums jeden Tag absteigende Ausflußmenge anbetrifft, so scheint dies von einer pathologischen Erscheinung herzurühren. Mit dem Verlauf der maximalen Ausflußmenge geht auch die Druckpulsation nicht nur am Bohrloch, woraus jeden Tag eine bestimmte Menge des Saftes entnommen wurde, sondern auch an einem entgegengesetzt liegenden und unbehandelt gebliebenen Bohrloch verloren. Ungeachtet dessen geht noch die tägliche Druckzunahme von statten, sodaß man ein alleiniges

Verschwinden des thermischen Außendruckes des Stengels annehmen kann. Es ist also sehr wahrscheinlich die Probeentnahme begleitende plötzliche Druckabnahme als die hauptsächlichste Ursache dafür anzunehmen. Nach Mikroskopieren habe ich keine Thyllenbildung, sondern aber zahlreicher als beim normalen Zustande gewordene Gasblasen im Gefäßlumen gefunden, was durch Verstopfung der Gefäße, besonders oberhalb des Bohrloches und eine Hemmung des präzisen Druckwechsels verursacht sein könnte. Das die ungewöhnliche Druckabnahme sehr oft begleitende Verlorengehen der Druckpulsation könnte auch mit demselben Mechanismus[1] im Zusammenhange stehen.

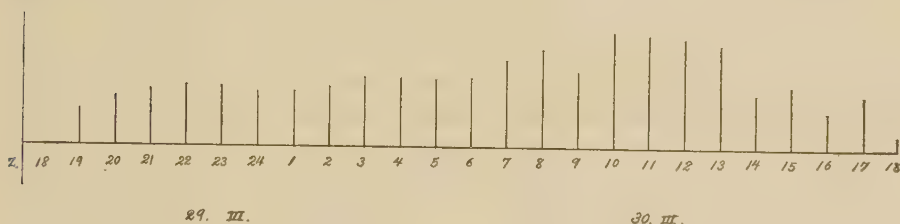


Fig. 45. Wechsel der Ausflußmenge pro Stunde bei einem *Cornus*-Baum (II).

Schon in der Tabelle auf der Seite 103 habe ich ermittelt, daß die Konzentration des Wurzelblutungssaftes jeden Tag schwankend wechselt, aber daß dieselbe um die Auftrittszeit des Jahresdruckmaximums, ein Maximum aufweist. Diese Tatsache stellt ein Anzeichen dafür dar, daß der osmotische Außendruck um die Auftrittszeit des Jahresdruckmaximums noch groß genug ist. Wenn es erlaubt ist, anzunehmen, daß der osmotische Wert des Wurzelblutungssaftes etwa der Wurzelsaugkraft, oder dem Wurzeldruck entspricht, so ist es aus derselben Tabelle klar, daß um die Zeit des Jahresdruckmaximums der Wurzeldruck noch sehr groß oder am größten ist.

Zusammenfassend dürfen wir nun schließen, daß das Jahresdruckmaximum hauptsächlich durch den Wurzeldruck, mehr oder weniger durch eine die ungewöhnliche Druckabnahme begleitende pathologische Erscheinung bestimmt wird.

Sofern das Bohrloch dauernd geschlossen gehalten wird, so sieht man bis jetzt bei Baum I keinen pathologischen Druckwechsel vor dem Erscheinen des Jahresdruckmaximums. Bei einem auf dem Abhänge wachsenden Baum[2] fand

1) Ob ein anderer Mechanismus dabei vorliegt, ist zur Zeit noch nicht klar.

2) Diesem Baum wurde jedes Jahr vor und nach 1926 Blutungssaft entnommen, worauf sehr wahrscheinlich sein Absterben im späteren Jahr beruht.

ich aber öfters eine solche Erscheinung, also ein baldiges Verschwinden der Druckpulsation. Unter dieser Sachlage ging doch eine langsame, etwa dem Wurzeldruck entsprechende einfache Druckveränderung vor sich, sodaß dadurch ein abnormaler Blutungsdruck entstand.

X. Schlußbetrachtungen

Auf Grund der erhaltenen Resultate im Zusammenhange mit den Untersuchungen von anderen Forschern möchte ich im folgenden eine Schlußfolgerung darlegen.

Ich gehe nun von der Grundvorstellung aus, daß die fundamentale Ursache des Blutungsdruckes von *Cornus* der Wurzeldruck ist, unter dem ich die auspressende Kraft der dem Gefäß anliegenden Markstrahl- und Holzparenchymzellen verstehe. Ob solche Kraft auf eine osmotische oder elektrische Weise entsteht, ist noch ganz problematisch. Meine eigenen Kulturversuche weisen klar darauf hin, daß die langsame Erhöhung der Konzentration der Außenlösung eine Druckzunahme, die plötzliche Erhöhung derselben dagegen eine Druckabnahme hervorruft. Diese Tatsachen sprechen zugunsten der osmotischen Theorie. Auf welche Weise kommt nun das immer nach innen gerichtete Auspressen zustande? Dafür betont URSPRUNG die polare Saugkraftdifferenz, und MÜNCH eine besondere Saftzirkulation.

Von mehreren Forschern wurden Einwände gegen die Richtigkeit der URSPRUNGschen Auspressung geltend gemacht. Es ist besonders zu bezweifeln, daß ein und dieselbe Zelle einmal einzieht, anderesmal aber auspresst. Die MÜNCHsche Hypothese hat dagegen einen großen Wert dem durch Stoffspeicherung oder- umsetzung frei gelegten Wasser beigemessen. Solcher Annahme scheint aber die Tatsache entgegen zu stehen, daß eine mit großen fertigen Blättern versehene, das Wurzelwachstum schon vollendet habende Topfkultur von *Cornus* auf Abschneiden des Hauptstengels hin noch einen großen Blutungsdruck behält. Dort ist weder Stoffspeicherung, noch Zellwandbildung in der Wurzel, sondern vielmehr Stoffauflösung anzunehmen. Es scheint also ein anderer Mechanismus nötig zu sein, die polare Auspressung des Wassers einwandfrei zu erklären. BLACKMAN, V. H. und HEYL, J. G. haben ebenfalls die Möglichkeit einer potentiellen Kraft, ohne einen experimentellen Beweis für dieselbe zu liefern, hervorgehoben.

Nach meinen eigenen Beobachhengen wechselt die Konzentration der Wurzelsäfte von Tag zu Tag, jedoch sich vergrößernd gegen das Ende der Blutungszeit, diejenige der Stengelsäfte aber stark schwankend. Damit steht die Tatsache

im Zusammenhange, daß der frühmorgendliche Blutungsdruck am Grunde des Baumes sich in den meisten Fällen von Tag zu Tag, unbeschadet einer ziemlich großen Schwankung, vergrößert. Nun darf ich einen Blutungssaft so deuten, daß es sich dabei nicht nur um den im normalen Zustande ausgepressten, sondern um den durch Bohrung plötzlich ausgepressten Saft handelt. Darum muß der osmotische Druck des Blutungsdruckes etwa demjenigen der dem Gefäß anliegenden Zellen entsprechen. Anders ausgedrückt, muß ein größerer osmotischer Druck des Blutungssaftes einem größeren osmotischen Außendruck sowohl des Stengels als auch der Wurzel entsprechen. So scheint es, als ob ein größerer osmotischer Außendruck eine größere Auspressung auslöst. Nun kann man den Wurzeldruck als gleichsinnig mit dem osmotischen Außendruck in der Wurzel annehmen, ohne auf eine damit im Zusammenhange stehende Ursache zu Schließen.

Warum verändert sich nun die Konzentration der Wurzelsäfte im Sinne einer von Tag zu Tag fortschreitenden Vergrößerung? Die im großen und ganzen von Tag zu Tag immer zunehmende Bodentemperatur und die damit zusammenhängende Auflösung der Reservestoffe[1] könnte eine Ursache sein. Die in neue Bodenräume eindringenden Wurzeln können auch durch die Absorption der Salzionen und ihre regulatorische Tätigkeit die Saftkonzentration der Wurzel zunehmen lassen.

Neben dem Wurzeldruck ist auch der thermische Außendruck in der Wurzel tätig. Da die Bodentemperatur sich in einer unmerklichen Weise verändert, so ist die Beteiligung desselben nicht bedeutend.

Im Stengeleil sind auch die beiden Außendrücke[2] tätig. Die Mitwirkung des osmotischen Außendruckes im Stengel läßt sich nur durch Untersuchungen der Stengelblutungssäfte klar stellen. Die Beteiligung des thermischen Außendruckes im Stengel läßt sich aber durch verschiedene Erwärmungs- oder Abkühlungsversuche erweisen.

Die täglische Periodizität des Blutungsdruckes wird hauptsächlich durch den Außendruckwechsel des Stengelteiles bestimmt. Die Jahresperiodizität desselben wird aber hauptsächlich durch eine mit Wurgelsaugkraft Hand in Hand gehende Erscheinung bestimmt. Eine die ungewöhnliche Druckabnahme begleitende pathologische Erscheinung scheint auch eine nebensächliche Rolle für die Bestimmung des Jahresdruckmaximums zu spielen.

1) Stärke ist die Hauptreserve der Markstrahl- und Holzparenchymzellen.

2) Es scheint mir, daß die beiden Außendrücke gleichsinnig mit sog. lokalem Blutungsdruck sind.

Der Deutlichkeit halber möchte ich nun die vorhin geäußerte Ansicht durch eine Formel ausdrücken. Bezeichnet man den Wurzeldruck am Grunde des Stengels mit *Du*, den dort ausgeübten Außendruck mit *Au*, und den am oberen Stengelteil bestehenden Wurzel- und Außendruck bzw. mit *Do* und *Ao*, so

$$Do = Du - kvh \qquad \text{(vergl. s. 160)}$$

$$k = \frac{c\eta}{q}.$$

Wird nun der Wurzeldruck an einem Wurzelteil mit *Dw* und der dort ausübend Außendruck mit *Aw* ausgedrückt, so

$$Dw = Du + k'v'd.$$

Nun

$$Au = Auo + Aup.$$

Auo...... Osmotischer Außendruck an *u*

Aup...... Thermischer Außendruck an *u*.

$$Ao = Aoo + Aop.$$

Aoo...... Osm. Außendruck an *o*

Aop...... Therm. „ an *o*.

$$Aw = Awo + Awp.$$

Nun

$$Dw = W + Aw, \qquad W = \text{Wurzeldruck}.$$

Wenn der Wurzeldruck als gleichsinnig mit *Awo* gehalten wird, so

$$Dw = Awo + Awp = Aw$$

$$Du = Do + kvh = Aw - k'v'd.$$

Wenn $v = v'$

$$v = \frac{Aw - Do}{kh + k'd}$$

$$Du = Aw - \frac{k'd}{kh + k'd}(Aw - Do)$$

$$= Aw\left(1 - \frac{k'd}{kh + k'd}\right) + \frac{k'd\,Do}{kh + k'd}$$

$$= Aw\frac{kh}{kh + k'd} + \frac{k'd\,Do}{kh + k'd}.$$

Setzt man $kh = ak'd$

so $$\frac{kh}{kh + k'd} = \frac{ak'd}{(a+1)k'd} = \frac{a}{a+1}, \qquad \frac{k'd}{kh + k'd} = \frac{1}{a+1}$$

$$\therefore \; Du = Aw\frac{a}{a+1} + \frac{Do}{a+1} = \frac{1}{a+1}(Do + a\,Aw).$$

Nun

$$Do = Ao + Dw - (h + d)\,k$$

$$k = 0.075 \text{ cm Hg pro 1 cm Abstand.}$$

$$Du = \frac{1}{a+1}\left[Ao + Dw\,(a+1) - (h+d)\,k\right]$$

$$= \frac{1}{a+1}\left[Ao + (W + Awp)\,(a+1) - (h+d)\,k\right].$$

Du verändert sich also je nach dem *Ao* und *Dw*.

Während kurzer Zeiten ändert sich *Dw* kaum merklich. Darunter besteht also die folgende Beziehung:

$$\frac{dDu}{dt} = K\frac{dAo}{dt}$$

Das besagt: Der Druckwechsel vollzieht sich je nach dem Außendruck der oberen Stengelteile. Der Fall paßt besonders zu dem tagesperiodischen Druckwechsel an einem schönen Tage.

XI. Zusammenfassung der Hauptresultate

1. Vorliegende Untersuchungen beabsichtigen das Wesen und die Ursache sowohl des jahresperiodischen als auch des tagesperiodischen Blutungsdruckwechsels von *Cornus controversa* klar zu stellen. Dabei habe ich den Druckwechsel unter möglichst weitreichenden Blutungsstadien und Außenbedingungen erforscht, um die früheren nur auf eine spezielle Blutungszeit und begrenzte Außenbedingungen bezogenen Untersuchungen zu vervollständigen.
2. Ein Quecksilber-Dendrodynamometer wurde konstruiert, um den Druckwechsel genau selbstregistrieren zu lassen. Das Registrieren des Druckwechsels ohne Reduktion, also in 1/1, genügte um eine winzige pulsatorische Schwankung des Druckes kennen zu lernen.
3. Es lassen sich zwei Arten des Druckwechsels während der Hauptblutungszeit unterscheiden. Die eine, der jahresperiodische Druckwechsel, kennzeichnet sich durch eine tägliche Druckzunahme unter dem Ausschluß der Lichtbeeinflussung; die andere, der tagesperiodische Druckwechsel besonders unter der Lichtbeeinflussung durch das Vorkommen eines Druckmaximums und—minimums.
4. Als ein Kriterium der jahresperiodischen Druckzunahme während der Hauptblutungszeit habe ich bei Baum I eine Aufstiegsrate gewählt, die in einer mit einer konstanten Luft- und Bodentemperatur und mit einer kon-

stanten großen Luftfeuchtigkeit verbundenen Schnee-Nacht vor sich ging. Sei y die Druckzunahme in mm Hg und X die Zeit in Stunden, so ist die Beziehung zwischen dem Druckwechsel und Zeit die folgende:

$$y = (2.625 \pm 0.579)\, x.$$

Nimmt man als die durchschnittliche Druckzunahme 2.63 mm pro Stunde, so gewinnt man 6.3 cm als Druckzunahme in 24 Stunden. An einem auf kaltes Wetter folgenden Morgen geht eine größere, an einem auf warmes Wetter folgenden Morgen aber eine geringere Druckzunahme vor sich (vergl. Absch. III, β, A).

5. Nach der Auftrittszeit des Druckminimums unterscheiden sich die Kurven des früheren Blutungsstadiums von denen des Hauptblutungsstadiums.

   Je nach dem Wetter lassen sich 4 Arten der Druckkurven beim Hauptblutungsstadium feststellen. Und weiterhin wurde die Kurve eines schönen Tages in zwei Untertypen eingeteilt.

   Die Druckkurve des späteren Blutungsstadiums charakterisiert sich durch das Fehlen einer pulsatorischen Druckschwankung. Je nach dem Wetter und den Stadien werden die Druckkurven auch in verschiedene Arten eingeteilt.

   Nun scheint die von Bose erhaltene Kurve, wo die Lufttemperatur allein als der bestimmende Faktor angenommen wird, nur einer Phase des oben genannten Druckwechsels zu entsprechen.

6. Während der Hauptblutungszeit entspricht die tägliche Zunahme der Konzentration des Wurzelblutungssaftes der täglichen Blutungsdruckzunahme; die Konzentration des Stengelblutungsaftes wechselt von Tag zu Tag etwa invers proportionell der Lufttemperatur der vorangehenden Zeiten. Da die Konzentration des Blutungssaftes der Saftkonzentration der dem Gefäß anliegenden lebenden Zellen entsprechen soll, so bedeutet die größere Konzentration des ersteren einem entsprechend größeren hydraulischen Druck, anders größerem osmotischem Außendruck. So wird die tägliche Blutungsdruckzunahme hauptsächliche durch den täglichen Aufstieg des osmotischen Außendruckes der Wurzel, oder des Wurzeldruckes hervorgerufen, aber durch den schwankenden Wechsel des osmotischen Außendruckes des Stengels unregelmäßig gestaltet.

7. Eine plötzliche Vergrößerung der Konzentration der Nährlösung retardiert den Wurzeldruck, eine allmähliche Vergrößerung derselben aber fördert den genannten Druck, was sehr wahrscheinlich mit dem Eindringen der Salzionen und mit einer regulatorischen Tätigkeit der Wurzel zusammen-

hängt. So könnte das Eindringen der Wurzel in neue Bodenräume während der Hauptblutungszeit den Wurzeldruckaufstieg[1] hervorrufen. Die mit dem Wurzelwachstum Hand in Hand gehende Auflösung der Reservestärke könnte auch im Zusammenhang mit dem vorhin gesagten Vorgang den Wurzelsaft konzentrierter, und folglich den Wurzeldruck größer machen.

8. Außer dem osmotischen Außendruck kommt noch ein physikalischer, genauer thermischer Außendruck Zustande, der durch die Ein- und Ausstrahlung der Wärme von der Zellwand verursacht wird. Als Wärmequelle seien vor allem die Sonnenstrahlen, aber auch die Luft- und Bodentemperatur genannt. Bei einer im Laboratorium kultivierten Topfpflanze spielen die beiden letzteren Faktoren, bei einem im Freien stehenden Baum aber der erstere Faktor eine große Rolle. So zeigt eine Topfpflanze einen mehr dem Lufttemperaturwechsel parallel gehenden Druckverlauf. Wird der Topf erwärmt oder abgekühlt, so verläuft der Druck, konstante Lufttemperatur vorausgesetzt, genau parallel der Bodentemperatur. Die Wirkung des osmotischen Außendruckes ist bei einer Topfkultur kaum merklich, sodaß das Jahresdruckmaximum dort manchmal unter der Zusammenwirkung der Boden- und Lufttemperatur bestimmt wird. Bei einem im Freien stehenden Baum tritt kaum die Wirkung des durch Boden und Lufttemperatur ausgeübten Außendruckes zutage, sondern diejenige des durch Sonnenbestrahlung ausgeübten stark in den Vordergrund.
9. Um den Einfluß der Sonnenbestrahlung auf den eben gesagten physikalischen Außendruckwechsel genauer kennen zu lernen, habe ich zunächst verschiedene Erwärmungs- und Abkühlungsversuche nicht nur mit Topfpflanzen, sondern mit einem abgeschnittenen, abgetöteten Stengelstücke ausgeführt. Hierdurch gelangte ich zur Überzeugung, daß die durch Wärmeeinstrahlung und- ausstrahlung verursachte Expansion und Kontraktion der Zellwände der an die Gefäße angrenzenden Gewebe die Grundursachen davon sind. Die berechnete thermische Expansionsrate eines Stengelstückes entsprach ungefähr dem Wert des beobachteten thermischen Blutungsdruckwechsels.

Der eben ausgesprochene Schluß läßt natürgemäß eine merkwürdige Tatsache erwarten, daß nämlich die Gefäßwände durch Wärmeeinstrahlung

1) Ob die Konzentration des Bodensaftes gegen Ende der Blutungszeit größer wird, ist zur Zeit noch nicht vollkommen klar, sodaß auf einen Zusammenhang dieser Erscheinung mit dem Wurzeldruckaufstieg nicht zu schließen ist.

nach Innen gepresst werden, was schon von den Amerikaner MERVIN und LYON hervorgehoben wurde.

10. Die eben erwähnte MERVIN und LYONsche Erscheinung scheint aber auf den ersten Blick mit den Tatsachen, auf welche MAC DOUGAL und seine Schüler aufmerksam machten, im Widerspruch zu stehen, daß nämlich die Dicke der Bäume unter dem Einfluß der Wärme schwankend wechselt. Meine eigene mit einem MAC DOUGALschen Dendrograph ausgeführte Untersuchung zeigt aber, daß der *Cornus*-Baum kaum merkliche Dickenveränderung aufweist. Es scheint mir also, als ob die mit keiner oder unmerklicher Dickenveränderung versehenen Bäume einen hohen Blutungsdruck aufweisen könnten.
11. Der Druckkurvenverlauf eines wildwachsenden Baumes (I) wurde mit dem Aktionographen an ein und demselben Tag genau verglichen, und darnach wurde gefunden, daß die Schwankung des Druckwechsels nicht nur durch vorübergehende Wolken, sondern auch durch die Beschattung von anderen Bäumen und Gebäuden bestimmt ist. Jedenfalls ist eine vorangehende Wärmeeinstrahlung auf den Baum die wichtigste Vorbedingung der heftigen Druckschwankung.
12. Der Beschattungsversuch mit einer Feldpflanze genügt auch um einen Druckabfall darzulegen. Eine künstliche Besprengung der Pflanze mit kaltem Wasser hat auch einen plötzlichen Druckabfall, diejenige mit warmen Wasser jedoch zuerst einen plötzlichen Druckaufstieg, später aber einen plötzlichen Abfall zufolge. Damit ist die Abkühlungstätigkeit des Regens, die man öfters aus den Druckkurven ersieht, leicht zu erklären.
13. Ein *Cornns*-Baum mit vorheriger Erwärmang weist durch Wind einen Druckabfall, ohne derartige Vorbehandlung aber keinen solchen auf. Durch Wind ergibt sich bei einem abgeschnittenen Stengelstücke ein steilerer Druckabfall, also ein spitzigerer Höcker auf einer Kurve als in ruhiger Luft. Auf einer mit einem Feldbaum erhaltenen Druckkurve zeigt sich aber kaum ein solcher Fall. Die mit zahlreicheren Spitzen und mit spitzigeren Gipfeln versehene an einem klaren, stürmischen Tage gewonnene Druckkurve kann sich aber mit Recht so deuten lassen, daß die heftig vorbeigehenden Wolken die Grundursache davon bilden.
14. Die Transpiration der unbelaubten *Cornus*-Äste ist sehr unbedeutend, sodaß der davon abhängige Druckwechsel kaum merklich sein könnte. Die Wärme-Ein- und-Ausstrahlung eines *Cornus*-Astes ist aber sehr bedeutend, woraufhin also eine pulsatorische Druckschwankung vor sich gehen könnte.

Die Transpiration der belaubten *Cornus*-Äste ist aber so ansehnlich, daß ein starker Druckabfall damit, auch ohne einen nennenswerten Abstieg des Wurzeldruckes, möglich ist.

15. Der Blutungsdruck eines *Cornus*-Baumes nimmt immer nach oben ab. Da die Blutungsströmung im normalen intakten Zustand sehr träge ist, so dürfte eine hydrostatische Formel dort gültig sein. Deshalb habe ich die folgende Formel für die Geschwindigkeit einer Blutungsströmung abgeleitet.

$$v = \frac{Du\text{-}Do}{kh}.$$

Durch einige Versuche habe ich den Wert von v und $\frac{Du\text{-}Do}{h}$ gewonnen und hierauf den Wert k berechnet.

Nun

$$v = \frac{Du\text{-}Do}{0.165.\,h} \text{ cm pro Stunde.}$$

Du...... Druck an einer unteren Stelle.

Do...... „ „ „ oberen Stelle, deren Abstand von der unteren h ist.

16. Da die Leitungsgeschwindigkeit eines hydraulischen Druckes enorm ist, so muß irgend eine Druckveränderung an einem oberen Stengelteil momentan nach unten fortgeleitet werden. Somit ist das zeitliche Zusammenfallen eines Druckwechsels an zwei in vertikaler Richtung übereinander gestellten Manometern zu erklären. Natürlich tritt dabei eine abweichende Höhe des Druckwechsels an den beiden Manometern auf. Ich fand immer einen höheren Druckwechsel am oberen Manometer, wonach als Entstehungsort eines tagesperiodischen Druckwechsels ein oberer Stengelteil betrachtet werden darf.

Zwei in etwa gleicher Höhe, aber an entgegengesetzten Seiten angesetzte Manometer zeigen gleichen Druckverlauf, aber abweichende Höhen des Druckwechsels. Daraus darf man den Schluß ziehen, daß der ursprüngliche Druckwechsel an verschiedenen oberen Stengelteilen verschieden groß sein könnte. Also kann man verschiedene Arten Blutungsströmungen an verschiedenen Seiten eines Baumes annehmen. Infolge abweichender Höhen des Wurzeldruckes könnte auch eine Differenz der absoluten Druckwerte an verschiedenen Seiten auftreten.

17. Es kommen drei Arten der plötzlichen Druckabnahme vor.

1. Abendliche plötzliche Druckabnahme.

2. Frühmorgendliche, sogenannte „ungewöhnliche."
3. Durch Regen hervorgerufene.

Alle Arten der plötzlichen Druckabnahme sind auf eine einzige einheitliche Ursache, nämlich auf eine Abkühlung der Bäume zurückzuführen. Da der dabei vor sich gehende Druckabfall, wie bei anderen thermischen Druckschwankungen, von der Volumenveränderung der Gefäßlumina herrührt, so muß derselbe Abfall sich je nach dem Durchmesser der angewendeten Manometer verändern. Der durch den Abkühlungsversuch eines Stengelstückes erhaltene Druckabfall erklärt zur Genüge die Möglichkeit des im Freien beobachteten auffallend großen Abfallswertes.

Als Entstehungsbedingungen der betreffenden Erscheinung kann man starke Wärmeausstrahlung, tiefe Lufttemperatur, und plötzlich vorkommenden Regen nennen. Außerdem scheint ein genügend großer Wurzeldruck eine unerläßlich wichtige Vorbedingung dafür zu sein.

18. Da nach der Ansicht des Autors der am Grund eines Baumes herrschende Blutungsdruck unter der Mitwirkung sowohl des Wurzeldruckes W, als auch des in der Wurzel oder im oberen Stengelteil entwickelten osmotischen und physikalischen Außendruckes (Awo, Awp, Aoo, Aop) entsteht, so besteht die folgende Formel zwischen jenen Drücken.

$$Du = \frac{1}{a+1}\left[Ao + Dw\ (a+1) - (h+d)\ k\right]$$

$$Ao = Aoo + Aop$$

$$Dw = Awo + Awp + W.$$

Wenn $W = Awo,\ Dw = Awp + W$

$$\therefore\ Du = \frac{1}{a+1}\left[Aoo + Aop + (W + Awp)\ (a+1) - (h+d)\ k\right].$$

Nach dieser Formel läßt sich die Bedeutung der Tages- und Nachtkurve klarstellen.

In der Nacht wechselt wegen des Fehlens der Wärmeeinstrahlung Aop unmerklich, dagegen $Aoo + W$ stärker, aber langsam, so daß die Druckkurve während der Hauptblutungszeit stetig langsam aufsteigt.

An regnerischen, bzw. Schneetagen finden wir etwa ähnliche Bedingungen wie beim obigen Fall.

An wolkigen und schönen Tagen tritt die Wirkung von Aop vor allem hervor. Während kurzer Zeitspannen besteht also das folgende Verhalten:

$$\frac{dDu}{dt} = \frac{dAop}{dt}.$$

Unter solchen Bedingungen entsteht gewöhnlich das Tagesmaximum und-minimum eines schönen Tages. Als Ausnahmefall kommt es öfters vor, daß *Aoo* infolge tiefer Lufttemperatur so stark in den Vordergrund tritt, daß um 6 Uhr ein Tagesmaximum entsteht.

19. Die pro Stunde ausfließende Saftmenge verhält sich etwa proportionell dem dabei herrschenden Druck. Die Möglichkeit eines solchen Ausflußmengenwechsels ist auf Grund der bekannten Poiseilleschen, oder meiner etwas modifizierter Formel leicht zu erklären. Wenn das Bohrloch älter wird, so geht jeden Tag ein Abfall der Ausflußmenge vor sich. Nach der experimentellen Konstatierung mehrerer Tatsachen gelangte ich dazu den Abfall der Ausflußmenge für einen pathologischen Vorgang zu halten.

Etwa mit dem Abfall der Ausflußmenge hängt das Verlorengehen der pulsatorischen Druckschwankung zusammen. Eine solche Erscheinung bemerkt man öfters unmittelbar nach dem Auftreten einer ungewöhnlichen Druckabnahme, deren Anfangsdruck einem Jahresmaximum entspricht. Das hängt sehr wahrscheinlich teils mit einer gesteigerten Transpiration, größtenteils aber mit der vorhin erwähnten pathologischen Erscheinung zusammen. Zusammenfassend darf man also den Schluß ziehen, daß das Jahresdruckmaximum mehr oder weniger deutlich durch eine pathologische Erscheinung bestimmt wird.

JOURNAL OF THE FACULTY OF SCIENCE
IMPERIAL UNIVERSITY OF TOKYO

SECTION I. MATHEMATICS, ASTRONOMY, PHYSICS, CHEMISTRY
SECTION II. GEOLOGY, MINERALOGY, GEOGRAPHY, SEISMOLOGY
SECTION III. BOTANY

SECTION IV. ZOOLOGY
SECTION V. ANTHROPOLOGY

CONTENTS

This JOURNAL is on sale at

MARUZEN CO., LTD.
6, Nihonbashi Tori-Nichome, Tokyo

R. FRIEDLÄNDER & SOHN
Karlstr. 11, Berlin, N. W. 6

Price in Tokyo: Yen 2.20 for this Part

昭和十二年三月十五日印刷
昭和十二年三月二十日發行

編纂兼發行者　東京帝國大學

印刷者　東京市麹町區内幸町一丁目四番地　秋本宗市

印刷所　東京市麹町區内幸町一丁目四番地　株式會社ヘラルド社印刷部

賣捌所　東京市日本橋區通二丁目六番地　丸善株式會社